



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**PROBLEMATIKA EKOLOGICKÉ DOPRAVY  
OSOBNÍCH VOZIDEL**

PROBLEMATICS OF ECOLOGICAL TRANSPORT OF PASSENGER CARS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**DOMINIK ŠPANKO**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. MARTIN BERAN**

**BRNO 2019**

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Dominik Španko**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Martin Beran**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Problematika ekologické dopravy osobních vozidel

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracovat rešerži popisující problematiku ekologické dopravy osobních vozidel. Zaměřit se na dopady osobní dopravy na životní prostředí a zhodnotit směry, kterými se současní výrobci pokoušejí vydávat. Pokusit se porovnat ekologickou zátěž osobního vozidla se spalovacím motorem oproti adekvátnímu elektromobilu. Nastínění budoucích směrů k technologiím umožňující "čistou" osobní přepravu.

### Cíle bakalářské práce:

Rozbor problematiky ekologické dopravy.

Zhodnocení negativních vlivů na životní prostředí způsobenou vlivem osobní dopravy.

Porovnání ekologické zátěže osobního automobilu se spalovacím motorem oproti adekvátnímu elektromobilu.

Závěrečné zhodnocení a nastínění budoucích, kroků které je potřeba pro "čistou" osobní dopravu.

### Seznam doporučené literatury:

STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. ISBN 0-333-74013-01999.

SKOTSKY, Alexander A. Automotive Engines. Springer Verlag, 2009, ISBN 978-3-642-00163-5.

JAN, Zdeněk a ŽDÁNSKÝ, Bronislav. Automobily (3): Motory. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-15-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Táto bakalárska práca sa zaoberá problematikou ekologickej dopravy osobných vozidiel. Cieľom práce je rozbor danej problematiky a zhodnotenie negatívnych vplyvov spôsobených osobnými vozidlami. V úvode sú predstavené najpoužívanéjšie typy vozidiel, neskôr zhodnotené skutočnosti, ktoré ovplyvňujú environmentálny dopad daných vozidiel počas celého ich životného cyklu. V poslednej časti práce je porovnaná ekologická záťaž osobných vozidiel so spaľovacím motorom oproti elektrickým vozidlám a načrtnutý možný budúci vývoj v danej problematike.

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the problematics of ecological transport of passenger vehicles. The aim of the thesis is to analyze given issue and evaluate negative effects caused by passenger vehicles. In the introduction are presented the most widely used types of vehicles, later on are evaluated facts that influence the environmental impact of given vehicles throughout their entire life cycle. In the last part of thesis, the ecological burden of passenger vehicles with combustion engine is compared to electric vehicles, also possible future development in given issue is outlined.

## **Klíčové slová**

Problematika ekologickej dopravy, osobné vozidlá, elektrické vozidlo, vozidlo so spaľovacím motorom.

## **Keywords**

Problematics of ecological transport, passenger vehicles, electric vehicle, combustion engine vehicle.

ŠPANKO, D. *Problematika ekologickej dopravy osobných vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Beran.

Prehlasujem, že bakalársku prácu s názvom *Problematika ekologickej dopravy osobných vozidel* som vypracoval sám, pod vedením Ing. Martina Berana, s použitím odbornej literatúry a zdrojov uvedených v zozname na konci práce.

.....  
Dominik Španko  
21. mája 2019

V nasledujúcich slovách by som sa chcel poďakovať svojmu vedúcemu, Ing. Martinovi Beranovi, za odborný prístup, cenné rady a pripomienky, ktoré mi pomohli pri tvorbe tejto práce. Ďalej by som sa chcel poďakovať svojej priateľke, priateľom a najmä rodičom za to, že mi umožnili štúdium na vysokej škole a počas celého jeho priebehu mi po všetkých stránkach boli oporou.

Dominik Španko

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Problematika ekologickej dopravy</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Vozidlo so spaľovacím motorom</b>	<b>11</b>
3.1	Spaľovací motor . . . . .	11
3.2	Motor s vnútorným spaľovaním . . . . .	11
3.2.1	Typy motorov s vnútorným spaľovaním . . . . .	11
3.2.2	Zážihový spaľovací motor . . . . .	12
3.2.3	Vznetový spaľovací motor . . . . .	12
3.3	Výhody a nevýhody vozidla so spaľovacím motorom . . . . .	12
3.4	Výfukové plyny . . . . .	13
3.4.1	Definícia výfukových plynov . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Elektrické vozidlo</b>	<b>16</b>
4.1	Typy elektrických vozidiel . . . . .	16
4.2	Princíp činnosti . . . . .	16
4.3	Elektrický motor . . . . .	17
4.4	Batérie . . . . .	17
4.4.1	Problematika . . . . .	18
4.4.2	Recyklácia batérií . . . . .	18
4.5	Výhody a nevýhody elektrického vozidla . . . . .	19
4.6	Hybridné vozidlo . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Energia</b>	<b>21</b>
5.1	Zdroje energie . . . . .	21
5.2	Elektrická energia . . . . .	23
5.2.1	Elektrická energia a vozidlá . . . . .	25
<b>6</b>	<b>Životný cyklus vozidiel</b>	<b>26</b>
6.1	Kategórie environmentálneho dopadu . . . . .	26
6.2	Posúdenie životného cyklu . . . . .	27
6.3	Výrobná fáza . . . . .	27
6.4	Prevádzka automobilu . . . . .	28
6.5	Koniec životnosti vozidla . . . . .	28
<b>7</b>	<b>Porovnanie vozidiel</b>	<b>29</b>
7.1	Globálne porovnanie . . . . .	29
7.1.1	Výsledky . . . . .	30
7.2	Lokálne porovnanie – Taliansko . . . . .	31
7.2.1	Výsledky . . . . .	32
7.3	Lokálne porovnanie – Poľsko a Česká republika . . . . .	34
7.3.1	Výsledky . . . . .	34
7.4	Zhodnotenie . . . . .	35
7.5	Budúce smery v ekologickej doprave . . . . .	36

<b>8 Záver</b>	<b>37</b>
<b>9 Literatúra</b>	<b>38</b>
<b>10 Zoznam použitých skratiek a symbolov</b>	<b>41</b>



# 1 Úvod

Približne 200 000 rokov ľudia obývajú planétu Zem a počas celej tej doby boli nútení presúvať sa z miesta na miesto. Či už za potravou, alebo za čímkoľvek iným. Najskôr sa človek pohyboval pomocou vlastnej sily a svalov, no ako sa ľudstvo vyvíjalo, musel sa vyvíjať aj spôsob prepravy.

Prvým zlepšením bolo presúvanie sa z miesta na miesto šmykom. Druhým významným bodom vo vývoji dopravy bolo vynájdenie kolesa, ktoré je doteraz považované za najprelomovejší objav v histórii ľudstva. Približne v rovnakej dobe prišli ľudia s nápadom domestikácie koní. Ľuďom sa podarilo postupne z divokých koní vyšľachtiť veľa druhov jazdeckých a ťažných koní. Tie boli obrovským prínosom pre život, vykonávali ťažké práce, prevážali náklady, prepravovali ľudí.

Ďalším mohutným krokom vo vývoji dopravy bolo skonštruovanie prvých motorových vozidiel. Všetko to začalo koncom 19. storočia v období tzv. priemyselnej revolúcie. V roku 1800 sa objavilo prvé vozidlo na stlačený vzduch, o 2 roky neskôr vozidlo na raketový pohon, respektíve strelný prach. Následne sa objavil prvý elektromobil, dvojtaktný spaľovací motor na svietiplyn a neskôr prišli klasické vozidlá poháňané spaľovacími motormi.

Vynálezy týchto vozidiel boli určite neskutočným prínosom pre ľudstvo, avšak majú aj druhú, negatívnu stránku. V posledných rokoch sa čoraz intenzívnejšie začína prejavovať záujem o ekologický dopad dopravy. Tá má značný podiel na znečistení našej planéty a ovzdušia.

Cieľom tejto práce je rozbor problematiky ekologickej dopravy a zhodnotenie environmentálnej záťaže osobných vozidiel. Poznáme mnoho druhov dopravných prostriedkov, ktorými by sa mohla táto bakalárska práca zaoberať, avšak z dôvodu najväčšieho podielu osobných automobilov na celkovej doprave sa budeme sústrediť na práve už spomínané osobné automobily. Vymedzíme si najdôležitejšie faktory ovplyvňujúce životné prostredie a ľudský organizmus. Keďže najsilnejšími kandidátmi sú v súčasnej osobnej doprave automobily so spaľovacím motorom a elektrické vozidlá, pokúsime sa porovnať ich ekologickú záťaž.

## 2 Problematika ekologickej dopravy

Je globálne známe, že súčasná doprava má mnoho nepriaznivých, až škodlivých účinkov na ľudské zdravie a celkové životné prostredie. Doprava produkuje 23 % z celkových svetových CO<sub>2</sub> emisií. Európska Únia stanovila, že do roku 2050 musia byť všetky emisie skleníkových plynov spojené s dopravou znížené o 60 %. Väčšina ľudí za týmito nepriaznivými dôsledkami vidí len plyny a odpad, ktoré produkujú vozidlá počas pohybu na cestách [18].

Mnohé vlády a nátlakové skupiny v posledných rokoch propagujú zavedenie elektrických a hybridných vozidiel do portfólia dôležitých technológií potrebných na znižovanie emisií skleníkových plynov a spotreby energie. Záujem o tieto vozidlá vychádza najmä z faktu produkovania nízkych alebo žiadnych výfukových plynov. S čoraz intenzívnejším záujmom o klimatickú politiku, mnohé veľké automobilky zvyšujú výrobu elektrických a hybridných vozidiel. Avšak priame výfukové plyny sú len jedným zo širokého množstva aspektov, ktoré ovplyvňujú naše zdravie a životné prostredie. [20]

Druhým a jedným z najzávažnejších problémov je energia potrebná na chod, výrobu a všetky úkony spájané s vozidlom. Treba prihliadať na spôsob výroby danej energie, či už je to elektrická energia potrebná najmä pri elektrických vozidlách, alebo sa jedná o palivo ktoré poháňa spalovacie motory bežných konvenčných vozidiel. Dôležitým faktorom je okrem výroby aj distribúcia paliva a elektrickej energie. Otázkou je či, majú v dnešnej dobe štáty prispôbenú infraštruktúru na výrazný prechod z vozidiel so spalovacím motorom na elektrické, alebo hybridné vozidlá.

Veľkú rolu v ekologickej doprave zohráva aj samotná výroba vozidiel a komponentov pre vozidlá. Mimo bežných komponentov, použitých pri produkcii oboch kategórií vozidiel, sa tu nachádzajú technológie, ktorých produkcia môže byť značne ekologicky náročnejšia. Jedná sa hlavne o batérie elektrických vozidiel, ktoré sú jednak zložité na výrobu, ale aj na likvidáciu po skončení ich životnosti.

Materiály použité na výrobu súčastí vozidiel, spolu s ich ťažbou a spracovaním taktiež prinášajú nepriaznivé výsledky v celkovom ekologickom dopade osobnej dopravy.

Musíme prihliadať aj na schopnosť obnoviteľnosti použitých zdrojov. Je potrebné zaviesť funkčné ekvivalenty pre neobnoviteľné zdroje a využívať obnoviteľné zdroje len v rámci ich regenerácie. Malo by sa zabrániť preťažovaniu životného prostredia látkami a rovnako mu poskytnúť dostatočný čas na zotavenie [11].

Za predpokladu obmedzenej životnosti vozidiel, ktorá je hrubo odhadovaná na najjazdených 150 000–300 000 km, musia byť vzaté do úvahy pri výpočte celkovej ekologickej záťaže aj procesy na konci životnosti vozidla. Jedná sa teda o demontáž, recykláciu a likvidáciu použitých súčastí a technológií.

Na pochopenie danej problematiky si priblížime súčasne najrozvinutejšie druhy vozidiel - vozidlá so spalovacím motorom a elektrické vozidlá. Tie majú oproti ostatným druhom v dnešnej dobe najrozvinutejšiu technológiu, najvhodnejšiu infraštruktúru a najväčší predpoklad udržať sa medzi technológiami osobnej dopravy. Pre vhodné vyhodnotenie environmentálneho dopadu a porozumenie všetkých spojitostí, budeme musieť začať od základov.

## 3 Vozidlo so spaľovacím motorom

Pohon automobilu zaistuje zariadenie nazývané motor. Výkon motoru sa transformuje cez prevodové a pojazďové ústrojenstvo na hnacie kolesá. Hnací motor teda dodáva cez vyššie spomenuté, prevodové a pojazďové ústrojenstvá na hnacie kolesá mechanickú energiu. Vytváranie mechanickej energie v automobilovom motore sa dá realizovať prakticky dvoma spôsobmi. Spaľovaním rôznych palív, čiže premenou tepelnej energie na mechanickú, pomocou spaľovacieho motora. Druhým spôsobom je vytváranie mechanickej energie z elektrickej energie, pomocou elektromotora [3].

### 3.1 Spaľovací motor

Motor, ktorý konvertuje chemickú energiu paliva na tepelnú energiu a následne používa túto energiu k produkovaniu mechanickej práce sa nazýva tepelný motor. V tomto type motora sa palivo zapaluje za prítomnosti atmosférického vzduchu, čím uvoľní veľké množstvo tepelnej energie. Následne motor premieňa uvoľnenú tepelnú energiu na prácu [17].

Poznáme 2 základné druhy tepelných motorov:

- Motor s vonkajším spaľovaním ECE
- Motor s vnútorným spaľovaním ICE

Motory s vonkajším spaľovaním môžu dosahovať lepšiu účinnosť, ako aj nižšie emisie oxidu dusíku v dôsledku spaľovania pri nižších tlakoch a teplotách. Avšak sú menej kompaktné a omnoho ťažšie, než motory s vnútorným spaľovaním, a tým pádom sa nepoužívajú ako pohon osobných automobilov [17].

Z tohto dôvodu budú v tejto práci vozidlá s vnútorne spaľovacím motorom (ICEV) reprezentovať skupinu vozidiel so spaľovacím motorom.

### 3.2 Motor s vnútorným spaľovaním

Pri ICE môže spaľovanie paliva prebiehať dvoma spôsobmi. Prvý prebieha vo vnútri valca. V takomto prípade sa jedná o piestové motory, ktoré môžu konať vratný alebo rotačný pohyb piestu. Tu sa využíva najmä potenciálna energia spalín. Druhý spôsob je, keď produkty spaľovania vstupujú do valca ako pracovná látka. Toto využívajú lopatkové motory, pri ktorých proces horenia prebieha kontinuálne a zužitkováva sa tu kinetická energia spalín [22].

Najväčšie zastúpenie v osobných automobiloch majú vratné piestové motory.

#### 3.2.1 Typy motorov s vnútorným spaľovaním

Spaľovacie motory môžu byť klasifikované na základe mnohých charakteristík. Napríklad podľa použitého paliva (benzín, diesel, atď.), pracovného cyklu (štvordobý, dvojdobý), termodynamického cyklu (Ottov, Dieslov) alebo na základe počtu a usporiadania valcov, poprípade rýchlosti motora. Za primárnu rozdeľovaciu charakteristiku, pre širšiu verejnosť je však považovaná metóda zapálenia paliva. Tá delí motory na [17, 22]:

- Zážihový spaľovací motor
- Vznetový spaľovací motor

#### 3.2.2 Zážihový spaľovací motor

Ako už bolo spomenuté, primárnym faktorom pri delení spaľovacích motorov je metóda zapálenia paliva. V tejto bakalárskej práci budeme rozoznávať, podľa vyššie uvedenej metódy, dva typy spaľovacieho motora – zážihový a vznetový. V tejto kapitole si definujeme zážihový spaľovací motor.

Tento typ motora pracuje na princípe Ottovho cyklu, čiže prívod a odvod tepla prebieha za konštantného objemu. Palivom poháňajúcim tento motor je benzín. Je veľmi prchavý a má vysokú teplotu samovznietenia. Pred vstupom do motorového valca je palivo zmiešané so vzduchom. Prípravu tejto zmesi zabezpečuje karburátor. Zmes je zapálená v zážihovom motore na konci kompresného zdvihu pomocou sviečky. Kompresný pomer sa nachádza v rozmedzí od 6 do 10,5, kde horný limit je obmedzený antidetonačnou kvalitou paliva. Menší kompresný pomer má za následok aj menšiu termálnu účinnosť motora. Zážihové motory majú menšiu hmotnosť ako vznetové, čiže sú v globále menej hlučné a spôsobujú menej vibrácií. Cena benzínu je vyššia ako cena nafty [17].

#### 3.2.3 Vznetový spaľovací motor

Vznetový spaľovací motor pracuje na rozdiel od Zážihového spaľovacieho motoru na základe Dieslovho cyklu. V tomto cykle prebieha výmena tepla izobaricky. Palivo dodávané do motoru je diesel alebo nafta. Je neprchavé a má nízku teplotu samovznietenia. Na rozdiel od zážihového motora je pri nasávaní privedený do valca len vzduch a palivo sa vstrekuje za vysokého tlaku priamo do spaľovacej komory. Z tohto dôvodu vznetový motor obsahuje palivovú pumpu a vstrekovač paliva. Zapálenie paliva prebieha za prítomnosti vzduchu o vysokej teplote v dôsledku vysokej kompresie. Nie je potrebný žiaden iný zapalovací systém. Vznetové spaľovacie motory majú výhodu v tom, že dosahujú vyššie kompresné pomery, od 14 po 22 a tým aj vyššiu termálnu účinnosť. Horný limit kompresného pomeru je stanovený zvýšením váhy motora a to sa odráža aj na celkovej váhe motora, ktorá je v porovnaní so zážihovým motorom vyššia. Väčšia hmotnosť znamená väčší hluk a vibrácie. Cena nafty je nižšia [17].

### 3.3 Výhody a nevýhody vozidla so spaľovacím motorom

Vozidlá so spaľovacím motorom poskytujú radu výhod, aj pre ktoré sú v súčasnej dobe najrozšírenejším dopravným prostriedkom. Avšak prinášajú so sebou aj počet nevýhod, celkovo, ale aj v rámci environmentálneho dopadu.

Hlavnými negatívami ICEV sú napríklad:

- Výfukové plyny – Jedná sa o najväčšie negatívum ICEV. Podrobnejšie ich preberieme v nasledujúcej kapitole.
- Závislosť od fosílnych palív
- Hlučnejší chod
- Nižšia účinnosť oproti elektrickým vozidlám

Z mnoho výhod, ktoré poskytujú vozidlá so spaľovacím motorom sú najvýznamnejšie napríklad [5]:

- Nižšia cena v porovnaní s bežným elektrickým vozidlom
- Jednoduché dopĺňanie paliva
- Dlhoročný vývoj technológie
- Rozvinutá infraštruktúra pre spoľahlivú prevádzku

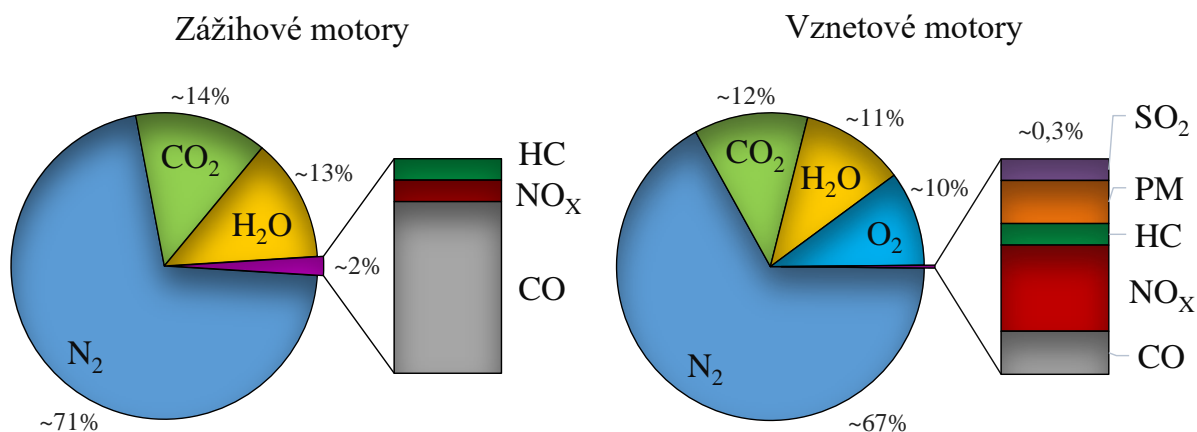
### 3.4 Výfukové plyny

Sú to produkty spaľovania paliva v motore za prítomnosti vzduchu. Niektoré z plynov sú škodlivé, niektoré neškodné. Môžu vznikať dokonalým, alebo nedokonalým spaľovaním. Väčšina škodlivých výfukových plynov je dôsledkom nedokonalaj, neúplnej oxidácie alebo rozpadu molekúl uhľovodíkových palív a ich čiastočnej oxidácií [3].

Výfukové plyny konvenčných vozidiel so spaľovacím motorom obsahujú zmes týchto plynov [30]:

- Dusík -  $N_2$
- Kyslík -  $O_2$
- Voda -  $H_2O$
- Oxid uhličitý -  $CO_2$
- Oxid uhoľnatý - CO
- Oxidy dusíku -  $NO_x$
- Oxid siričitý -  $SO_2$
- Nespálené uhľovodíky - HC
- Pevné častice - PM

Predtým než začneme popisovať konkrétne zložky výfukových plynov je nutné uviesť percentuálne zastúpenie jednotlivých zložiek. V nasledujúcom grafe je zobrazené približné zloženie výfukových plynov zážihového a vznetového motora.



Obr. 3.1: Percentuálne zloženie výfukových plynov Zážihových a Vznětových motorov [30].

### 3.4.1 Definícia výfukových plynov

V nasledujúcich riadkoch si definujeme konkrétne zložky výfukových plynov a popíšeme ich vplyv na životné prostredie, ako aj na ľudský organizmus.

#### Dusík - $N_2$

Dusík je plyn, ktorý má najväčšie zastúpenie v zložení ovzdušia (78 %). Je to nehorľavý plyn, bez zápachu a farby. Z celkového množstva dusíku privedeného do spaľovacej komory, sa väčšina vyfúkne v čistej forme. Dusík je v čistej forme neškodný plyn. Iba malé množstvo dusíka sa zmieša s kyslíkom  $O_2$ , čo vytvorí oxidy dusíku  $NO_x$  [30].

#### Kyslík - $O_2$

Je rovnako ako dusík bez zápachu, farby a tvorí značnú časť vzduchu, ktorý dýchame (21 %). Je to neškodný plyn [30].

#### Voda - $H_2O$

Voda sa dostáva do spaľovacieho motora z nasávaného vzduchu – môže za to vlhkosť ovzdušia. Alebo sa tvorí počas procesu spaľovania pri malých teplotách, čiže zahrievacej doby. Rovnako ako dusík a kyslík je neškodná pre ľudský organizmus [30].

#### Oxid uhličitý - $CO_2$

Oxid uhličitý je veľmi stabilný a málo reaktívny plyn. Nie je charakteristický žiadnou farbou ani zápachom. Vzniká spaľovaním paliva obsahujúceho uhlík a vzduchu privedeného do motora. Je výsledkom dokonalej oxidácie. Má nepriaznivý vplyv na životné prostredie, pretože stenčuje ozónovú vrstvu chrániacu zem pred UV žiarením. Radí sa do skupiny skleníkových plynov. Nepriaznivo taktiež pôsobí na človeka, ale až v prípade, keď jeho koncentrácia vo vdýchnutom vzduchu je väčšia než koncentrácia kyslíku [32].

#### Oxid uhoľnatý - $CO$

Bezfarebný plyn bez zápachu, výbušný a vysoko toxický. Je produktom nedokonalnej oxidácie spalín obsahujúcich dusík. Tvorí sa najmä z dôvodu nedostatku kyslíku pri spaľovaní a nedostatočnej teploty spaľovania. Oxid uhoľnatý bráni červeným krvinkám transport kyslíku. Už vdýchnutie relatívne malého množstva môže spôsobiť otravu [30].

#### Oxidy dusíku - $NO_x$

Jedná sa o zlúčeniny kyslíku a dusíku vo formách ako Oxid dusný  $N_2O$ , Oxid dusnatý  $NO$ , Oxid dusitý  $N_2O_3$ , Oxid dusičitý  $NO_2$ , Oxid dusičný  $N_2O_5$ . Vznikajú spaľovaním za vysokých tlakov, teplôt a nadbytku kyslíka. Najtoxickejšími z nich sú  $NO$  a  $NO_2$ . Zapríčiňujú vážne problémy s dýchacími cestami, tvorbu kyslých dažďov a letného smogu [30, 32].

**Oxid siričitý - SO<sub>2</sub>**

K formovaniu tohto plynu dochádza pri použití paliva obsahujúceho síru. Oxid siričitý možno popísať ako bezfarebný a prenikavý plyn. Má nepriaznivé účinky pre ľudský organizmus, spôsobuje poruchy a choroby dýchacích ciest [26].

**Nespálené uhľovodíky - HC**

Ako už plyní z názvu, jedná sa o produkty nedokonalého spaľovania, proces s predčasne zastavenou oxidáciou. Rôzne typy uhľovodíkov majú rôzne účinky na zdravie. Niektoré vykazujú minimálnu škodlivosť, ďalšie môžu dráždiť vnemové orgány. Najnebezpečnejšie sú uhľovodíky, ktoré vznikajú ako medziprodukty oxidačných reakcií, napríklad polycyklické aromatické uhľovodíky (PAH). Radia sa do skupiny karcinogénnych plynov. PAH majú schopnosť viazať sa s pevnými časticami, a tým znásobovať svoju škodlivosť [30, 32].

**Pevné častice - PM**

Sú to častice pevného a kvapalného skupenstva, primárny uhlík, organický uhlík, dusík, voda atď. Objavujú sa najčastejšie pri vznetových spaľovacích motoroch. Ich veľkosti sa pohybujú v rozmedzí od 0.005 do 100 mikrometrov ( $\mu\text{m}$ ), a na základe toho sa rozdeľujú do troch skupín:

- Hrubé (10 až 2.5  $\mu\text{m}$ ) - ukladajú sa výhradne v nose a hrdle.
- Jemné (2.5  $\mu\text{m}$  a menej) - prenikajú k pľúcám.
- Ultrajemné (0.1  $\mu\text{m}$  a menej) - prenikajú hlboko do pľúc a krvného riečiska.

Sú vysoko karcinogénne, približná hodnota referenčnej koncentrácie, ktorá nemá rakovinotvorný efekt po dlhej doby expozície je  $5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Okrem toxických účinkov na zdravie ľudí majú pevné častice negatívny vplyv aj na životné prostredie, pretože prispievajú ku globálnemu otepľovaniu a skleníkovým efektom. [32, 27]

## 4 Elektrické vozidlo

Súčasný trend v automobilovom priemysle je doceliť účinnú, udržateľnú a predovšetkým čistú dopravu. Výfukové plyny konvenčných vozidiel so spaľovacím motorom spôsobujúce znečistenie ovzdušia a zvyšujúci sa počet automobilov uvedených do prevádzky, vytvárajú dojem potreby nahradenia týchto vozidiel. Skutočnosť, že ropné zdroje, ktoré sú základom na výrobu palív poháňajúcich vozidlá so spaľovacími motormi sa znižujú, taktiež naznačuje potrebu zmeny [19].

Jednou z najslubnejších alternatív bolo zavedenie elektrických vozidiel. Tento pojem odkazuje na vozidlo, ktoré buď z časti alebo na plno využíva k svojmu pohonu elektrickú energiu dodávanú z batérie [9].

Elektrické vozidlá sa prvýkrát začali objavovať okolo polovice 19. storočia. V roku 1900 bol celkový počet predaných automobilov okolo 4200, z čoho asi 1600 (38 %) tvorili elektrické vozidlá. Nepriaznivé podmienky, ako nabíjanie batérii a pokrok vo vývoji konkurenčných vozidiel so spaľovacími motormi zapríčinili vymiznutie elektrických automobilov. Neskorší pokrok v technológii znova vzbudil záujem o tento typ vozidiel a mnohé automobilky začali s ich vývojom [19].

### 4.1 Typy elektrických vozidiel

Pojem Elektrické vozidlo pokrýva viacero druhov týchto vozidiel [9]:

- Batériové elektrické vozidlo (BEV)<sup>1</sup> - Elektrické vozidlo poháňané len batériou.
- Plug-In Hybrid (PHEV) - Vozidlo s elektrickým aj spaľovacím motorom. Batéria sa dá dobiť externe.
- Elektrické vozidlo s rozšíreným dojazdom (E-REV) - Obsahuje menšie batérie s nízkym dojazdom. Dojazd je zvýšený generátorom, poháňaným spaľovacím motorom. Samotný pohon ale vždy zaobstaráva elektrický motor.
- Hybridné elektrické vozidlo (HEV) - Vozidlo s elektrickým a spaľovacím motorom, batéria sa nedá dobiť externe. Dobíja sa počas jazdy, pomocou regeneratívneho brzdenia.

Jedným z cieľov tejto bakalárskej práce je porovnať klasické elektrické vozidlo s vozidlom so spaľovacím motorom (ICEV), a z toho dôvodu sa zameriame predovšetkým na BEV, ktoré budú pokrývať kategóriu elektrických vozidiel.

### 4.2 Princíp činnosti

Elektrické vozidlá bude v tejto bakalárskej práci prezentovať BEV.

Jedná sa teda o elektrické vozidlá poháňané čisto batériou. Batéria poskytuje jednosmerný prúd, ktorý v závislosti od druhu použitého motora, prechádza cez prúdový menič do motora, ktorý mení poskytnutú elektrickú energiu na mechanickú. Elektrický motor dokáže pracovať aj ako elektrická brzda. V tomto prípade sa správa ako generátor a energiu z brzdenia konvertuje na elektrickú energiu a ukladá ju do batérie [11].

---

<sup>1</sup>Často je označované aj pod pojmom Pure-Electric Vehicle (rýdzo elektrické vozidlo).



## 4.3 Elektrický motor

Mechanická energia je v elektrickom motore produkovaná na základe interakcie medzi magnetickým poľom a prúdom. Magnetické pole je vytvárané permanentným magnetom alebo elektromagnetom. Dve základné časti, tvoriace elektrický motor sú stator a rotor [16].

Existujú rôzne typy elektrických motorov, ako napríklad Motor s jednosmerným prúdom (DC), asynchrónny a synchronný motor so striedavým prúdom (AC). Ako vyplýva z názvu, rotor synchronného motora sa pohybuje s rýchlosťou magnetického poľa, teda synchronne. U asynchrónnych motorov sa rotor pohybuje pomalšie, čiže asynchrónne. V skorších dobách boli EV vybavené DC motorom, neskôr boli nahradené AC motormi. Tie poskytujú väčšiu efektívnosť, nižšiu cenu a vyššiu spoľahlivosť než DC motory. Z AC motorov, sú asynchrónne jednoduchšie a pomerne lacnejšie než synchronne, avšak vyššiu efektívnosť dosahujú synchronne [16, 11].

## 4.4 Batérie

Batéria je zariadenie, ktoré sa skladá minimálne z dvoch alebo viacerých elektrických článkov spojených dohromady. Články obsahujú kladné a záporné elektródy spojené elektrolytom. Chemická reakcia prebiehajúca medzi elektródami a elektrolytom generuje elektrickú energiu vo forme jednosmerného prúdu (DC). Dobíjanie batérií je umožnené obrátením chemickej reakcie pomocou obrátenia elektrického prúdu, batérie s touto schopnosťou sú označované ako sekundárne [25].

Najznámejšie typy batérií používané v EV a HEV sú [19]:

- Olovené (Pb-acid)
- Nikel-kadmiové (NiCd)
- Nikel-metal-hydridové (NiMH)
- Lítium-iónové (Li-ion)
- Lítium-polymérové (Li-poly)
- Sodíkovo-sírové (NaS)
- Zinko-vzdušné (Zn-Air)

Každý spomenutý druh batérií sa dokázal presadiť v špecifických druhoch EV, na základe rôznych požiadaviek ako cena, výkon, energia, váha, avšak najviac využívaný typ batérie v dnešnej dobe v elektrických vozidlách je lítium-iónová batéria [14].

Nedávna revolúcia vo výkonnosti tohto typu batérie stojí za sprístupnením EV a PHEV širšej verejnosti. Ponúka niekoľko krát väčšiu špecifickú energiu<sup>2</sup>, než napríklad NiMH alebo Pb-acid batérie [14].

---

<sup>2</sup>Špecifická energia - koľko energie dokáže batéria uskladniť na 1 kg svojej váhy [10].

### 4.4.1 Problematika

Batérie sú základom EV a práve ony umožňujú v dnešnej dobe ich existenciu. Prinášajú však so sebou aj množstvo problémov:

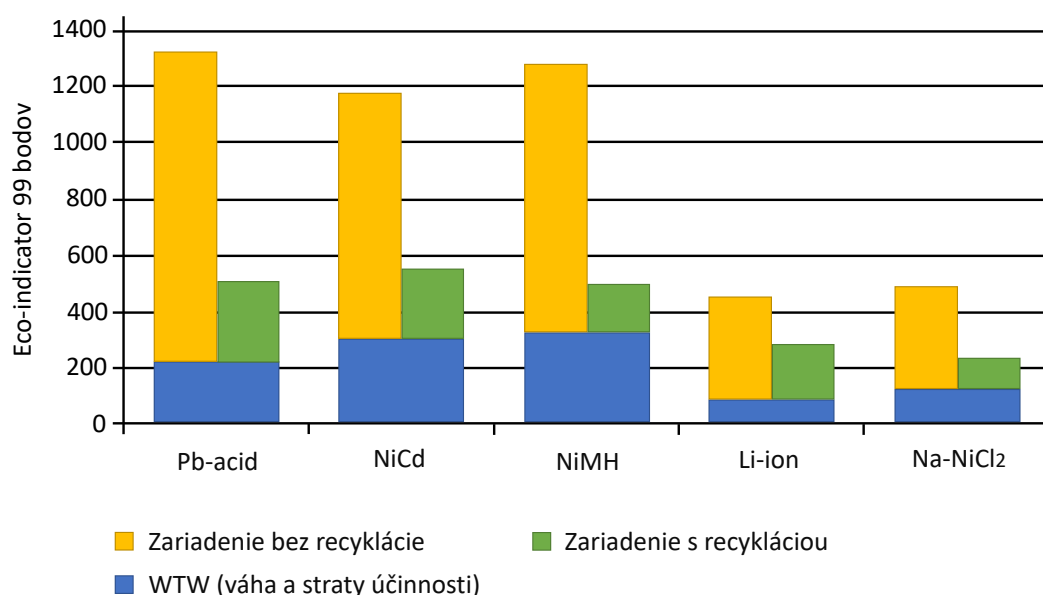
- Dojazd – Batérie stanovujú limity dojazdu EV, ktoré sú v porovnaní s klasickými ICEV nízke. Všeobecne to predstavuje 250 - 300 km na jedno nabitie [10].
- Doba nabíjania batérie - Dĺžka nabíjania závisí na vozidle, batérii a nabíjacej stanici. Štandardné nabíjacie stanice plne dobijú EV v rozmedzí od 6 do 8 hodín. Existujú však aj stanice s rýchlym nabíjaním, ktoré zvládnu plne dobiť EV za približne 30 minút. Tu však môžeme rátať s vyššou cenou [9, 10].
- Cena – Batérie značne zvyšujú celkovú cenu EV [10].
- Nižšia energetická hustota batérií v porovnaní s palivovými nádržami konvenčných vozidiel. Tým pádom má batéria väčšie rozmery a hmotnosť ako palivová nádrž, nesúca rovnaké množstvo energie. To sa odráža aj na celkovej váhe vozidla [18].
- Produkcia a likvidácia – Zložitá výroba a likvidácia batérií je environmentálne náročná a značne ovplyvňuje celkový dopad EV [21].

### 4.4.2 Recyklácia batérií

Výrobcovia batérií zvyčajne považujú za koniec životnosti batérie stav, keď kapacita klesne na 80%. Keď teda batéria dovŕši svoj životný cyklus, môže byť buď znovu využitá, zlikvidovaná alebo zrecyklovaná [9].

Recyklácia batérie hrá významnú rolu v environmentálnom dopade celkovej batérie, pretože môže značne prispieť k nižšiemu ekologickému dopadu celkového elektrického vozidla.

Následujúci graf prezentuje porovnanie rôznych typov batérií s využitím a bez využitia recyklácie.



Obr. 4.1: Graf porovnania rôznych typov batérií s a bez recyklácie na základe vyhodnocovacieho systému Eco-indicator '99 [28].

Z obrázku 4.1 je zreteľne vidieť, že recyklácia batérií niekoľkonásobne znižuje ich environmentálny dopad.

## 4.5 Výhody a nevýhody elektrického vozidla

EV poskytuje mnoho výhod, či už celkových, alebo tých v záujme zlepšenia životného prostredia. Nižšie je uvedených pár z týchto predností [19, 11]:

- Elektrické vozidlo počas prevádzky nevypúšťa do ovzdušia škodlivé emisie. Táto výhoda by mohla byť atraktívna najmä pre veľké mestá s hustou premávkou, kde je znečistenie vzduchu pomerne vysoké.
- EV môže byť poháňané elektrickou energiou vyrobenou z obnoviteľných zdrojov. Využitie týchto zdrojov by znížilo environmentálny dopad, a taktiež by spomalilo vyčerpávanie fosílnych palív.
- Jednoduchšie riadenie, tichšia jazda a vyššia energetická efektívnosť sú ďalšími z predností tohto druhu vozidiel.

Navzdory mnohým výhodám, z ktorých sme spomenuli len malú časť, EV majú aj značný počet nevýhod a nepriaznivých vplyvov. Medzi tie sa radia [20, 19, 11, 9]:

- Výroba EV má spravidla väčší dopad na životné prostredie. K tomuto dopadu najviac prispieva výroba batérie pre vozidlo.
- Výroba energie na dobíjanie EV z neobnoviteľných zdrojov a slabá infraštruktúra nabíjacích staníc pre elektromobily.

- Väčšia hmotnosť vozidla, ktorá ovplyvňuje okrem iného aj použité pneumatiky vozidla.
- Pomerne nízky dojazd automobilu na jedno nabitie, v porovnaní s konvenčným automobilom.
- Vysoká počiatočná cena automobilu.

## 4.6 Hybridné vozidlo

Aj keď sme uviedli, že táto bakalárska práca sa bude zaoberať najmä batériovými elektrickými vozidlami, za zmienku stojí aj tento druh EV.

Hybridný automobil bol vyvinutý aby prekonal obmedzenia konvenčných vozidiel so spaľovacím motorom a batériových elektrických vozidiel. Hybridné elektrické vozidlo obsahuje bežný spaľovací motor, elektrický motor a elektrickú batériu. Či už sa jedná o HEV, E-REV alebo PHEV, vozidlo spája dohromady zlepšené využívanie paliva oproti bežným ICEV a dlhší dojazd oproti EV. Nerieši problém výfukových plynov, ale aspoň ho zmierňuje.

Všeobecne možno konštatovať, že existuje široká škála hybridných vozidiel. Potenciál úspory paliva a celková environmentálna záťaž vozidla vo veľkej miere závisia od konfigurácie hnacieho ústrojenstva a stupňa hybridizácie<sup>3</sup>. Aj keď sa tento druh vozidla javí ako sľubný kandidát na zlepšenie ekológie dopravy, z veľkého množstva možných konfigurácií je pomerne zložité odhadnúť ekologický dopad pre celkovú kategóriu hybridných vozidiel [7, 19, 23].

---

<sup>3</sup>Špecifikuje, aká časť výkonu je poskytovaná elektrickým motorom a aká spaľovacím.

# 5 Energia

Energia nám pomáha v každodennom živote, vyhrieva nám domovy, pomáha pri príprave jedla, napája všetky spotrebiče. Energia poháňa naše automobily, či už vo forme paliva alebo elektrickej energie. Z toho vyplýva, že je neoddeliteľnou súčasťou automobilov a celého ich životného cyklu. Práve preto musí byť energia zohľadňovaná pri vyhodnocovaní celkovej ekologickej záťaže osobnej dopravy [24].

## 5.1 Zdroje energie

Pre pochopenie dôležitosti použitej energie z konkrétnych zdrojov, sa musíme zoznámiť s jednotlivými zdrojmi a ich dopadmi na životné prostredie. Tieto kroky neskôr prispejú k správne mu vyhodnoteniu environmentálnej záťaže osobných vozidiel.

Energia teda môže pochádzať z rôznych zdrojov, ktoré sa primárne delia na obnoviteľné a neobnoviteľné.

Medzi neobnoviteľné zdroje energie patria:

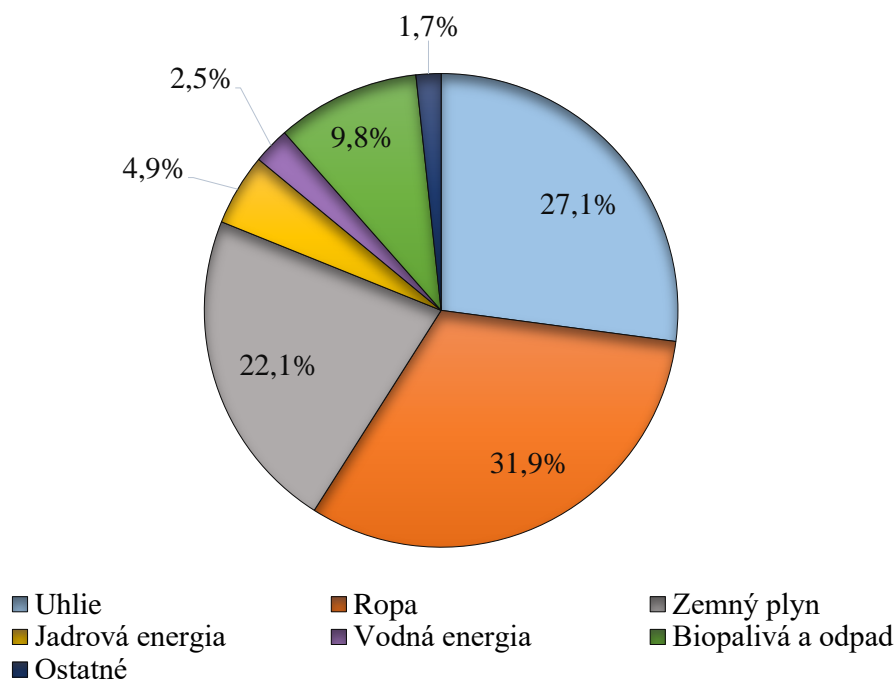
- Uhlie - Jedná sa o fosílné palivo. Za účelom výroby energie je uhlie spaľované, pričom sa do ovzdušia dostávajú nežiadúce látky ako  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , pevné častice alebo ortuť a iné ťažké kovy, ktoré môžu spôsobovať neurologické a vývojové poškodenia u ľudí ale aj zvierat. Odpadovým produktom spaľovania uhlia je popol, ktorý sa po uskladnení môže uvoľňovať a znečisťovať podzemné vody. Uhlie sa využíva najmä pre nízku cenu a jednoduchý transport [24, 12].
- Ropa - Fosílné palivo, ktoré má v týchto dňoch najväčší podiel na poháňaní dopravy. Z ropy pochádzajú palivá ako benzín a nafta. Toto intenzívne používanie prináša rapídne vyčerpávanie zdrojov ropy. Je odhadované, že ak aj naďalej bude ropa používaná pri súčasnom tempe, vymizne do 40 rokov. Negatívne účinky ropy sú spojené okrem jej spaľovania aj s jej spracovávaním a transportom. Ropné úniky sú vysoko toxické pre pôdu a vodu a môžu spôsobiť požiare a explózie [24, 12].
- Zemný plyn - Je „najčistejší“ z fosílnych palív, ale obsahuje vysoké množstvo metánu  $\text{CH}_4$ , ktorý je výrazným prispievateľom v tvorbe skleníkových plynov. Vŕtanie a spracovávanie tohto plynu prináša mnoho negatív, ako napríklad kontamináciu pôdy a vody. Únik zemného plynu môže zapríčiniť explózie [24, 12].
- Jadrová energia - Jadrové elektrárne produkujú energiu štiepením atómov, najčastejšie atómov uránu. Používa sa pri tom špecifický typ uránu s označením U-235, ktorý je pomerne vzácny, a z toho dôvodu sa aj výroba tejto energie zaraďuje medzi neobnoviteľné zdroje energie. Jadrová energia neprodukuje  $\text{CO}_2$  emisie ako fosílné palivá, ale jej pozostatkom je rádioaktívny odpad, o ktorom je známe, že je pre človeka veľmi nebezpečný. Veľké množstvo tohto odpadu sa však radí medzi odpad s nízkou radiáciou, a je uchované pod viacerými vrstvami materiálov, zabráňujúcimi úniku radiácie [12].

Obnoviteľné zdroje energie sú:

- Solárna energia - Energia zo slnka zachytená pomocou fotovoltaiických panelov, ktoré ju konvertujú na elektrinu. Táto energia neprodukuje žiadne emisie a jej využívanie môže uľavovať životnému prostrediu a znížiť tlak pri vyčerpávaní fosílnych zdrojov. Avšak na výrobu fotovoltaiických panelov sa používajú toxické materiály a chemikálie. Negatívom je aj skutočnosť, že na to, aby solárne elektrárne vyprodukovali dostatočné množstvo energie, musia zaberať veľké oblasti [12, 25].
- Veterná energia - Pozitívom pri tomto type energie, rovnako ako pri solárnej je to, že neprodukuje žiadne emisie. Nevyžaduje dokonca ani vodu na chladenie. Veterné turbíny môžu využívať vzácne materiály, ktorých ťaženie môže prinášať negatívne účinky na životné prostredie. Taktiež môžu vizuálne ovplyvniť krajinu a majú podiel na vymieraní určitého množstva vtákov a netopierov [12, 25].
- Vodná energia - Je to ďalšia z čistých energií a jej využívanie uľavuje prírode. Avšak do určitej miery ovplyvňuje životné prostredie, napríklad bráni migrácii rýb, mení charakteristiku toku rieky a prirodzenú teplotu vody. Skleníkové plyny ako  $\text{CO}_2$  a  $\text{CH}_4$  sa môžu formovať vo vodných nádržiach a emitovať do ovzdušia, ale ich množstvo je nejasné [12].
- Geotermálna energia - Je to teplo spod povrchu zeme. Pri tomto type energie záleží, ako je konvertovaná na ďalší druh energie. Jednou z technológií sú napríklad geotermálne tepelné čerpadlá, ktoré nemajú takmer žiadne negatívne účinky na prírodu. Množstvo emisií pri geotermálnej energii, v porovnaní s energiou z fosílnych palív je zanedbateľné [12].
- Biomasa - Jedná sa o organické materiály pochádzajúce z rastlín a zvierat, ktoré po spálení uvoľňujú teplo. Ide napríklad o drevo, odpad z jedla, ale aj o trus. Spaľovaním biomasy sa emituje do prostredia  $\text{CO}_2$ , avšak rastliny, ktoré sú jej zdrojom dokážu zachytiť cez fotosyntézu ekvivalentné množstvo tohto plynu. Na základe tejto skutočnosti by sa dala biomasa považovať za uhlíkovo-neutrálny zdroj energie [12].

Najväčšia výhoda energie z obnoviteľných zdrojov je tá, že ich využívanie uľaví životnému prostrediu a zníži potrebu vyčerpávať neobnoviteľné a fosílné zdroje. Obnoviteľné zdroje hrajú veľkú úlohu v záchrane planéty.

Otázkou je, ako vyzerá situácia vo výrobe energie v posledných rokoch. Nasledujúci graf ukazuje percentuálny podiel jednotlivých zdrojov na svetovom zásobovaní energie v roku 2016.



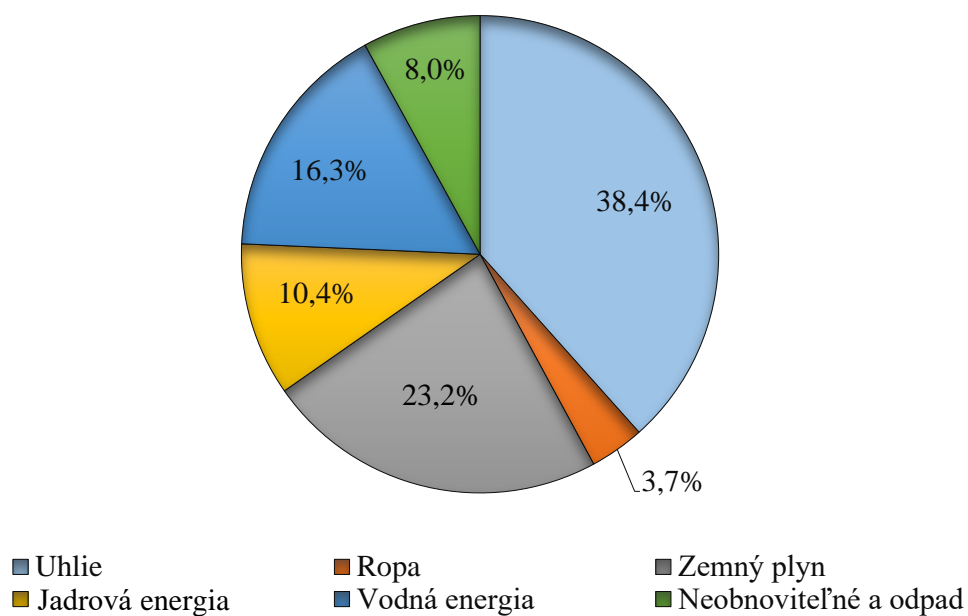
Obr. 5.1: Celkové svetové dodávky primárnej energie podľa zdroja [4].

Uvedené zdroje môžeme radiť buď do kategórie primárnych zdrojov energie, napríklad tepelná energia, ktorej zdrojom sú palivá z ropy a stretávame sa s ňou najmä pri spaľovacích motoroch. Alebo ich môžeme označovať ako zdroje, používané na výrobu sekundárneho zdroja energie, ktorým je napríklad elektrická energia.

## 5.2 Elektrická energia

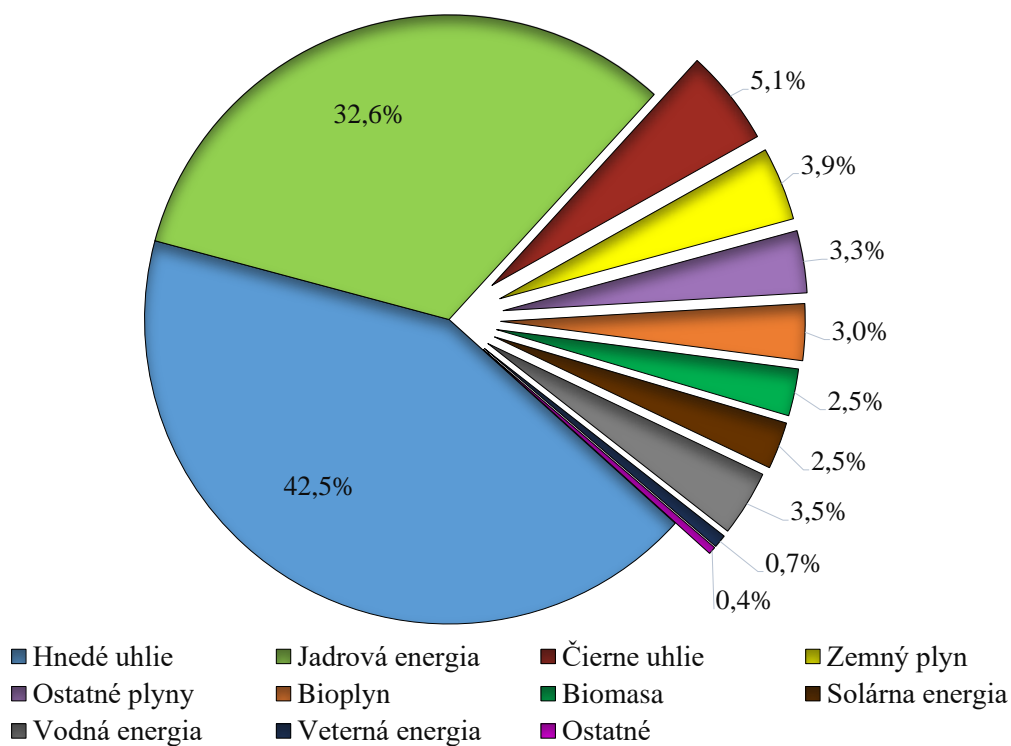
Elektrická energia sa dá generovať okrem neobnoviteľných zdrojov aj z obnoviteľných, čo predstavuje jej najväčšiu výhodu v oblasti pohonu automobilov. Najväčší podiel na produkovani elektriny však majú už dlhé roky neobnoviteľné zdroje.

Nižšie uvedený graf zobrazuje percentuálne zastúpenie jednotlivých zdrojov na produkcii celosvetovej elektrickej energie.



Obr. 5.2: Celková svetová produkcia elektrickej energie podľa zdroja [4].

Situáciu v Českej republike v produkcii elektrickej energie približuje graf 5.3. Je založený na dátach Energetického regulačného úradu z roku 2017.



Obr. 5.3: Výroba elektriny podľa typu paliva v Českej republike v roku 2017 [13].

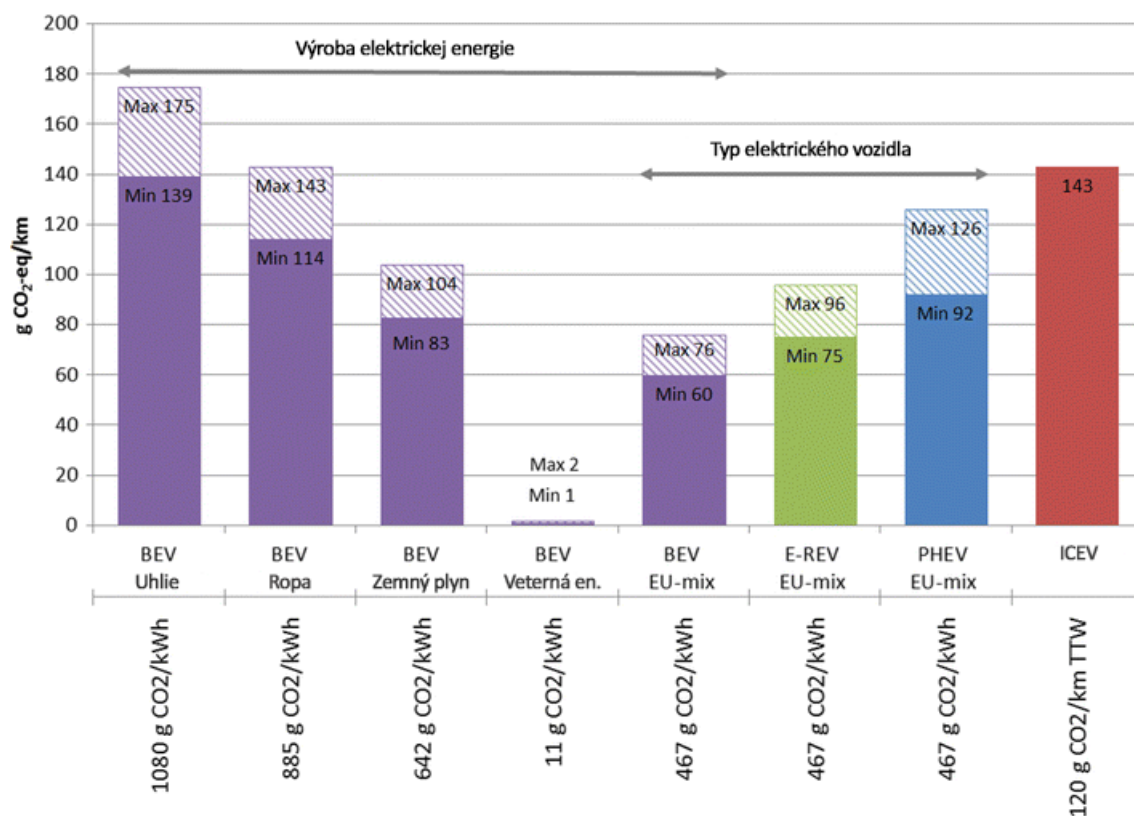


Z grafov 5.3 a 5.2 vidíme, že vyrobená elektrická energia pramení najmä z neobnoviteľných zdrojov. Táto skutočnosť nepriaznivo vplýva na štatistiky ohľadom ekologickej otázky osobných vozidiel, keďže elektrická energia je základom pre výrobu a pohyb automobilov.

### 5.2.1 Elektrická energia a vozidlá

Elektrina použitá na dobíjanie batérií elektrických vozidiel je jedným z najdôležitejších faktorov ekologického dopadu elektrického vozidla. Zdroje tejto energie môžu výrazne ovplyvniť celkovú ekologickú stopu daného vozidla. [11]

Na vytvorenie predstavy o environmentálnom dopade elektriny na dobíjanie EV, vytvorenej z rôznych primárnych zdrojov, je predložený graf 5.4. Ten zobrazuje GHG emisie na km (g CO<sub>2</sub>-eq/km) pre rôzne zdroje elektrickej energie použité pri prevádzke elektrických vozidiel. Všetky zdroje sú prirovnané k referenčnej hodnote 120 g CO<sub>2</sub>-eq/km, ktorú vyprodukuje bežné benzínové ICEV. Kategóriu elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov v tomto porovnaní zastupuje veterná energia [28].



Obr. 5.4: GHG emisie pre rôzne typy výroby elektrickej energie a rôzne vozidlá [28].

Z grafu vidíme, že EV, dobíjané elektrinou z uhlia má najvyšší podiel na produkcii CO<sub>2</sub> spomedzi vybraných, zatiaľ čo EV fungujúce na elektrine získanej z veterných elektrární, má takmer minimálny. Táto skutočnosť odráža myšlienku, že EV poskytuje dostatočnú výhodu v otázke ekologickej dopravy len v prípade, keď je dobíjané obnoviteľnou a nízko ekologicky náročnou energiou.

## 6 Životný cyklus vozidiel

Pre správne určenie ekologickej záťaže osobných vozidiel je nutné zamerať sa na celý ich životný cyklus. To zahŕňa všetky procesy, ktoré sa podieľajú na produkcii, prevádzke a konci životného cyklu. Predtým, než si priblížime jednotlivé procesy a vhodné metódy na vyhodnotenie životného cyklu, je potrebné uviesť kategórie environmentálneho dopadu.

### 6.1 Kategórie environmentálneho dopadu

Rôzne procesy majú rozličné vplyvy, ktorými znehodnocujú životné prostredie alebo škodia živým organizmom. Vymedzenie týchto vplyvov pomôže k presnejšiemu stanoveniu celkovej záťaže vozidiel.

Uvedené kategórie predstavujú najvýznamnejšie dopady v otázke ekologickej dopravy. Jedná sa o [21, 15]:

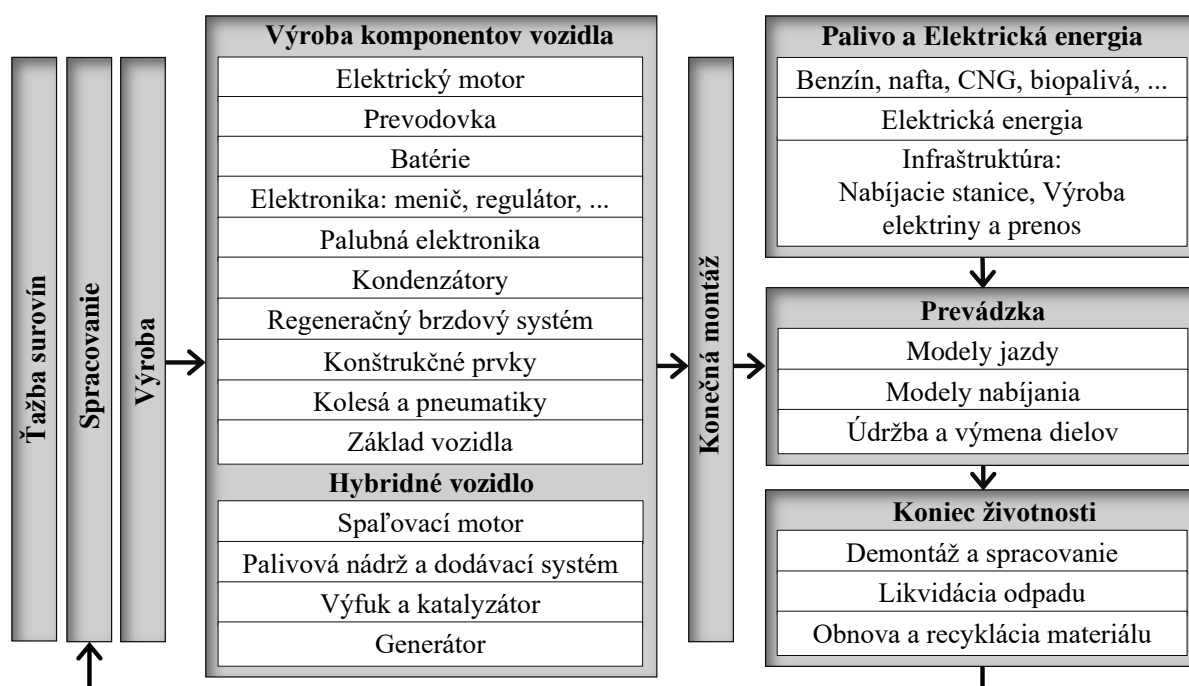
- Globálne otepľovanie GW - Jedná sa o zvyšovanie teploty zemského povrchu. Často sú za príčinu globálneho otepľovania považované skleníkové plyny GHG. Globálne otepľovanie je v záujme vyhodnotenia ekologického dopadu vyjadrované ako potenciál danej chemickej zlúčeniny prispieť k otepľovaniu zeme za daný časový úsek [31, 8].
- Zemské okysľovanie TA - Predstavuje hrozbu pre diverzitu rastlín a je primárne spôsobené uložením okysľujúcich zlúčenín v atmosfére [1].
- Vznik pevných častíc PMF - Vyjadruje potenciál vzniku pevných častíc, ktoré sú súčasťou výfukových plynov. Bližší popis nájdeme v kapitole 3.
- Vznik fotochemickej oxidácie POF - Fotochemická oxidácia je sekundárne znečistenie ovzdušia, známe aj pod názvom letný smog [2].
- Škodlivosť pre ľudí HT - Vyjadruje potenciál ublíženia ľudskému organizmu chemickou látkou vypustenou do prostredia [5].
- Znečistenie sladkých vôd FET - Vyjadruje potenciál poškodenia sladkovodných organizmov chemickou látkou vypustenou do prostredia [5].
- Pozemná toxicita TET - Vyjadruje potenciál ublíženia suchozemským organizmom chemickou látkou vypustenou do prostredia [5].
- Eutrofizácia sladkých vôd FE - Nadmerný nárast vodných rastlín a rias v dôsledku vysokej hodnoty živín v jazerách a riekach. Príčinou je znečistenie fosforom z hnojív a odpadových vôd. Dôsledkom je narušenie kyslíkového režimu a úhyn organizmov [29].
- Vyčerpávanie minerálnych zdrojov MD - Odhaduje sa na základe spotreby prírodných zdrojov, najmä tých, ktoré sú ťažené. Vyjadrené je zvyčajne v gramoch ekvivalentov železa [5].
- Vyčerpávanie fosílnych zdrojov FD - Odhaduje sa na základe spotreby fosílnych palív. Vyjadrená je v gramoch ekvivalentov ropy [5].

## 6.2 Posúdenie životného cyklu

Z mnohých metód na vyhodnotenie ekologickej záťaže vozidiel sa najviac osvedčila metóda „Life Cycle Assessment“. LCA analyzuje potenciálne ekologické dopady produktu, počas celej dĺžky jeho životného cyklu. Zbiera dáta a zostavuje súpis environmentálne relevantných procesov, podieľajúcich sa na fázach životného cyklu. Posudzuje dané dáta v rámci predom určených vplyvov, a následne ich interpretuje [21].

Hlavné fázy všeobecnej LCA sú výroba, prevádzka a koniec životnosti daného produktu. Life cycle assessment elektrických a spaľovacích vozidiel by mal teda rozlišovať výrobu vozidla, fázu prevádzky a koniec životnosti vozidla, zahŕňajúce všetky procesy a dodávky energií pri nich potrebné [20].

Na vytvorenie bližšej predstavy o LCA je na obrázku 6.1 znázornený zjednodušený životný cyklus elektrického vozidla.



Obr. 6.1: Zjednodušený životný cyklus elektrického vozidla s ohľadom aj na hybridné vozidlo [20].

V nižšie uvedených podkapitolách si priblížime tri základné fázy, ich popis a kategórie procesov do nich spadajúcich.

## 6.3 Výrobná fáza

Do tejto kategórie by mali spadať vplyvy pri výrobe celého vozidla, jednotlivých častí a súčiastok použitých v celkovej zostave vozidla. Za ideálnych okolností by mala táto fáza zachytávať vplyv všetkých komponentov vozidla, avšak v praxi je to veľmi komplikované. Mnoho LCA analýz z tohto dôvodu vyraduje súčasti s nízkou relevantnosťou [20].

Najdôležitejšie komponenty pri konštrukcii vozidla sú zachytené na obr. 6.1. Prevažná väčšina komponentov EV nie je rozdielna od komponentov klasického ICEV. Rovnaké komponenty pri rôznych typoch vozidla môžu mať rozdielne následky. Napríklad pneumatiky EV môžu mať iné charakteristiky z dôvodu prídavnej váhy batérie, tým pádom zložitejšiu výrobu a väčší environmentálny dopad [20].

S výrobnou fázou vozidla úzko súvisí aj ťažba surového materiálu a jeho spracovávanie. Tento fakt sa viaže na každú jednu časť konštrukcie vozidla. Procesy ako doprava materiálu, výroba výrobných zariadení a generácia elektriny použitej pri produkcii súčiastok sú pre jednoduchosť vyradené z obrázku 6.1 [20].

## 6.4 Prevádzka automobilu

Podstatným krokom v posudzovaní fázy prevádzky vozidla je určenie správnych modelov jazdy (driving patterns), na základe ktorých bude určená spotreba paliva a energie. Je nutné brať ohľad na rozmery, váhu, výkon a náklad vozidla, či už vo forme pasažierov alebo tovaru [21, 20]. Je potrebné stanoviť rovnakú dĺžku prevádzky vozidiel, ktorá sa zhruba odhaduje na 100 000–250 000 km najazdených [11]. Tieto kroky vedú k lepšej porovnateľnosti vozidiel, a tým k presnejším výsledkom LCA.

Údržba vozidla je taktiež podstatným aspektom. Dopad na životné prostredie pri výmene rôznych súčastí vozidla môže byť považovaný za rovnaký ako pri ich produkcii [20].

Ako bolo spomenuté v predošlej kapitole, energia spotrebovaná na pohon vozidiel hrá veľkú rolu pri LCA. LCA skúma vplyvy energie podobne ako metóda „well to wheels (WTW)“, ktorá sa rozdeľuje na fázu „well to tank (WTT)“ a „tank to wheels (TTW)“. WTT sa zaoberá dopadom získavania materiálov, produkcie energie, dopadom transportu a uskladnenia. TTW posudzuje dopady použitých palív priamo pri prevádzke vozidla. Avšak oproti WTW analýze je LCA komplexnejšia, najmä z dôvodu zahrnutia väčšieho počtu ekologických dopadov [6].

## 6.5 Koniec životnosti vozidla

Na konci životného cyklu je vozidlo rozobrané a jeho súčasti môžu byť vyhodnené, využité znovu, alebo obnovené [11]. Vysoké percento štúdií sa spolieha na recykláciu materiálu pri znížení environmentálneho dopadu, ale neuvažujú nad degradáciou materiálu a samotnou uskutočniteľnosťou procesu. Nie všetky materiály môžu byť recyklované [20].

Batérie elektrických vozidiel sú pomerne problematickou súčasťou fázy konca životného cyklu, pretože vyžadujú špeciálne a zložité procesy na obnovu vzácnych materiálov v nich obsiahnutých [11].

V rôznych krajinách platia rozličné zákony pre recykláciu vozidiel a často sa stáva, že z ekonomických dôvodov sa vozidlá vyvážajú do rozvojových krajín s nižšími recyklačnými štandardmi [11].

# 7 Porovnanie vozidiel

V aktuálnej kapitole sa pokúsime porovnať ekologickú záťaž konvenčného vozidla so spaľovacím motorom oproti elektrickému vozidlu. Na utvorenie lepšieho obrazu a na vyvodenie presnejších záverov sa pozrieme na porovnanie z hľadiska globálnej mierky, ale aj z pohľadu vybraných štátov. Tento krok je dôležitý najmä z dôvodu predstavenia rozdielov pri rôznych podmienkach použitia. Najväčší ohľad je braný na výrobu elektrickej energie daných štátov.

Pre účely lepšej porovnateľnosti som vybral 3 práce, ktoré zahŕňali celý životný cyklus vozidiel, so zameraním sa aj na environmentálny dopad použitej energie na pohon a dobíjanie vozidiel. Pokúsim sa porovnať a zhodnotiť EV a ICEV podobných rozmerov a charakteristík so životnosťou 150 000 km.

## 7.1 Globálne porovnanie

Najskôr sa na problematiku pozrieme z globálneho hľadiska. Uvedené výsledky boli získané z práce s názvom „Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles“ [21]. Autori skúmali šesť rôznych technológií a ich dopad v rôznych kategóriách možných ekologických dopadov. Technológie, ktorými sa práca zaoberá sú:

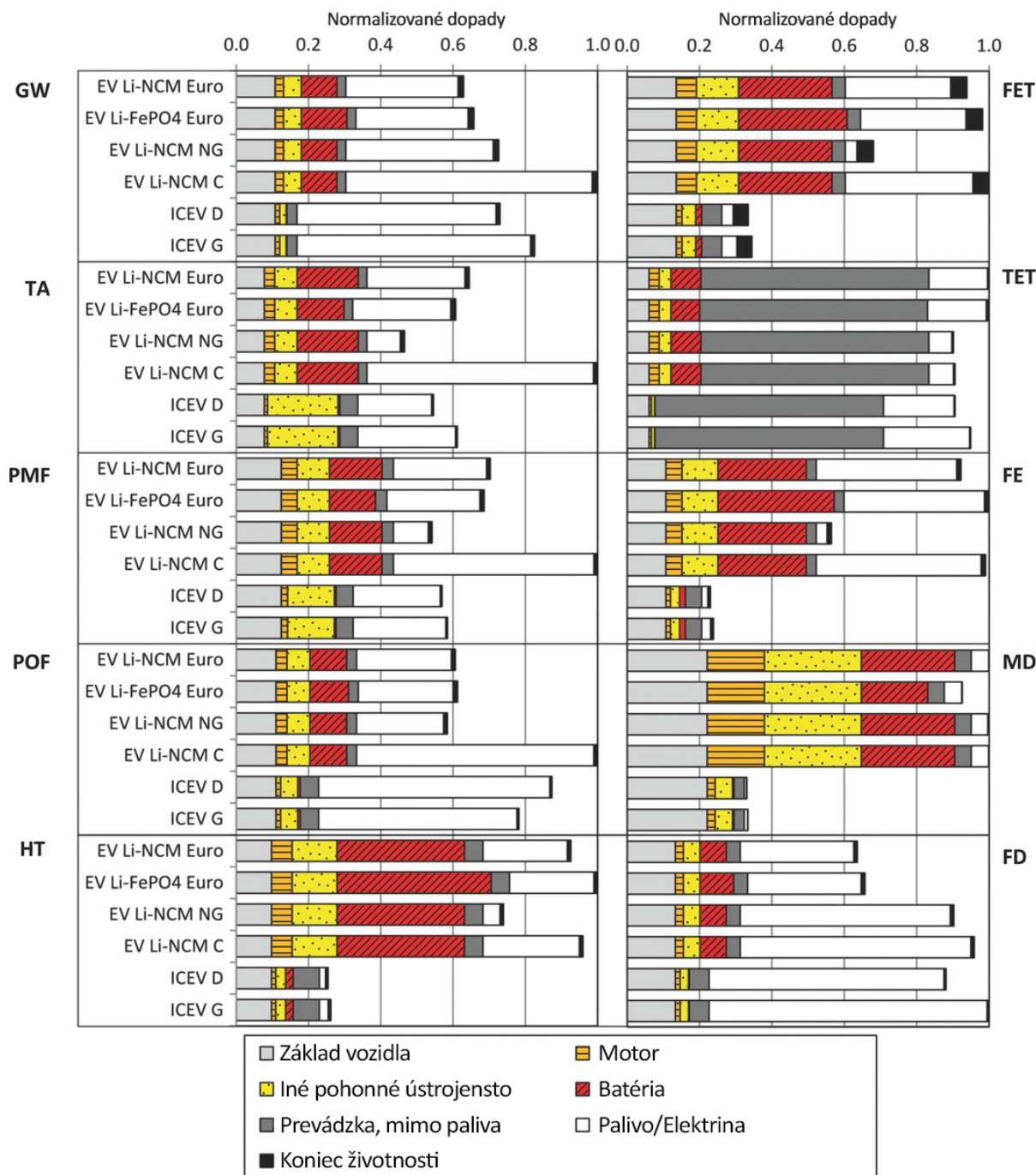
- EV Li-NCM Euro - Elektrické vozidlo s Li-NCM batériou poháňanou priemernou európskou elektrinou.
- EV Li-FePO4 Euro - Elektrické vozidlo s Li-FePO4 batériou poháňanou priemernou európskou elektrinou.
- EV Li-NCM NG - Elektrické vozidlo s Li-NCM batériou poháňanou zemným plynom.
- EV Li-NCM C - Elektrické vozidlo s Li-NCM batériou poháňanou elektrickou energiou z uhlia.
- ICEV D - Vozidlo so spaľovacím motorom poháňaným dieselom.
- ICEV G - Vozidlo so spaľovacím motorom poháňaným benzínom.

V porovnaní autori brali ohľad na produkciu vozidla, fázu používania a taktiež koniec životnosti spolu so všetkými podstatnými zdrojmi, potrebnými pri spomenutých fázach. Na zaistenie porovnateľnosti výsledkov bola stanovená spoločná „kostra“ vozidla pre všetky typy automobilov a upravený pohon pre každé vozidlo [21].

Vo fáze prevádzky sledovali spotrebu energie a paliva, so zreteľom na ich výrobu a dodávanie. Energetické požiadavky boli založené na výkonoch vozidiel Mercedes triedy A (pre vozidlá so spaľovacím motorom) a Nissan Leaf (pre elektrické vozidlá). Na konci životnosti vozidla, modelovali spracovávanie a likvidáciu vozidla a použitých batérií [21].

## 7.1.1 Výsledky

Výsledky šiestich technológií predstavujú potenciál zvýšiť dopad vybraných kategórií environmentálnych dôsledkov<sup>1</sup> a sú uvedené na obrázku 7.1. Pre lepšiu prehľadnosť boli normalizované na najväčší celkový dopad v danej kategórii.



Obr. 7.1: Graf výsledného porovnania [21].

<sup>1</sup>Jednotlivé kategórie sú popísané v kapitole 6.1.

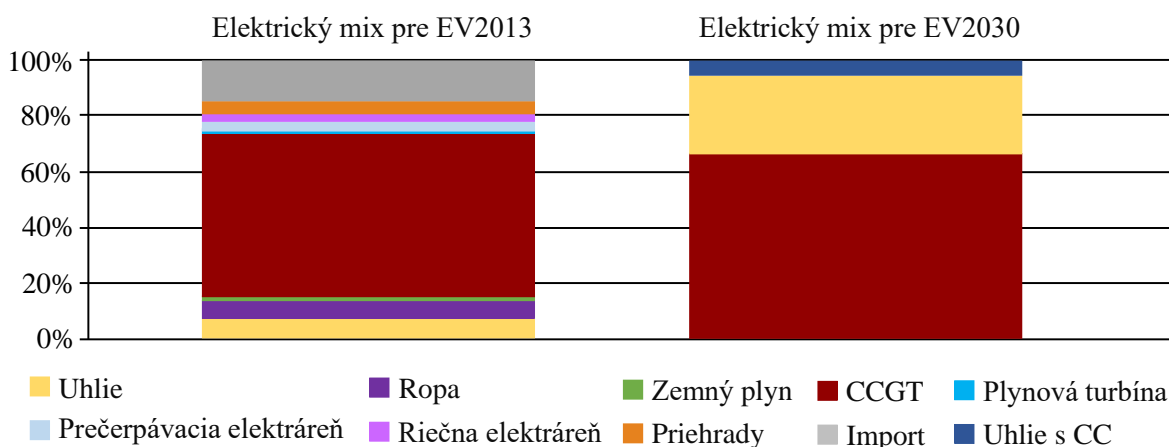
Graf v obrázku 7.1 naznačuje, že výrobná fáza vozidiel, ktorá zahŕňa základ vozidla, motor, batériu a iné pohonné ústrojenstvá, má najväčší potenciál ohroziť ľudské zdravie (HT), znečistiť sladké vody (FET) a vyčerpať minerálne zdroje (MD). Potenciál zvýšenia globálneho otepľovania (GW), znečistenia pôdy (TET) a vyčerpania fosilných zdrojov (FD) zaznamenáva najväčšie hodnoty pre fázu prevádzky, do ktorej sa zaraďuje aj palivo a energia. Procesy na konci životnosti vozidla prinášajú len malý prírastok k celkovému ekologickému dopadu v porovnaní s ostatnými fázami. Produkčná fáza elektrických vozidiel má vo všetkých kategóriách, okrem TA vyššiu ekologickú záťaž, než konvenčné vozidlá so spalovacím motorom. Podľa názoru autorov je to dôsledkom zásobovacích reťazcov, využitých pri výrobe elektrického pohonu a trakčných batérií [21].

Celkovo výsledky naznačujú, že EV za použitia elektrickej energie vyrobenej z uhlia dosahuje najhorších hodnôt. Európsky elektrický mix stanovený v práci spolu s EV je na tom patrne lepšie, avšak v porovnaní s ICEV sa z ekologického hľadiska neoplatí. Najlepších výsledkov spomedzi EV dosahujú tie, ktoré sú dobíjané elektrinou zo zemného plynu. Z výsledkov plynie, že pri momentálnej globálnej, respektíve európskej situácii je ekologicky najvýhodnejším vozidlom ICEV.

## 7.2 Lokálne porovnanie – Taliansko

Teraz sa pokúsime sústrediť na konkrétnu krajinu, Taliansko. Výsledky boli získané zo štúdie, zaoberajúcej sa problematikou v danej krajine. Vyhodnotenie bolo optimalizované pre 2 scenáre, EV v roku 2013 a EV v roku 2030, za účelom objasnenia environmentálnych dopadov v krátkodobom ale aj dlhodobejšom zmysle [15].

Autori práce stanovili hranice a podmienky pre EV a ICEV na základe rôznych talianskych databáz. Určili taktiež charakteristiky pre EV a ICEV vo verzii pre rok 2013 a 2030. EV s Li-ion batériou a váhou 1479 kg, ICEV poháňané benzínom a váhou 1059 kg. Pri modelovaní „well to tank“ fázy brali ohľad na hodinový profil nabíjania batérie a hodinovú elektrickú zmes. Na základe toho boli schopní stanoviť priemerný elektrický mix na dobíjanie batérií EV, ktorý je zobrazený na obrázku 7.2. V Taliansku prevláda elektrická energia generovaná plynovou turbínou s kombinovaným cyklom (CCGT) [15].



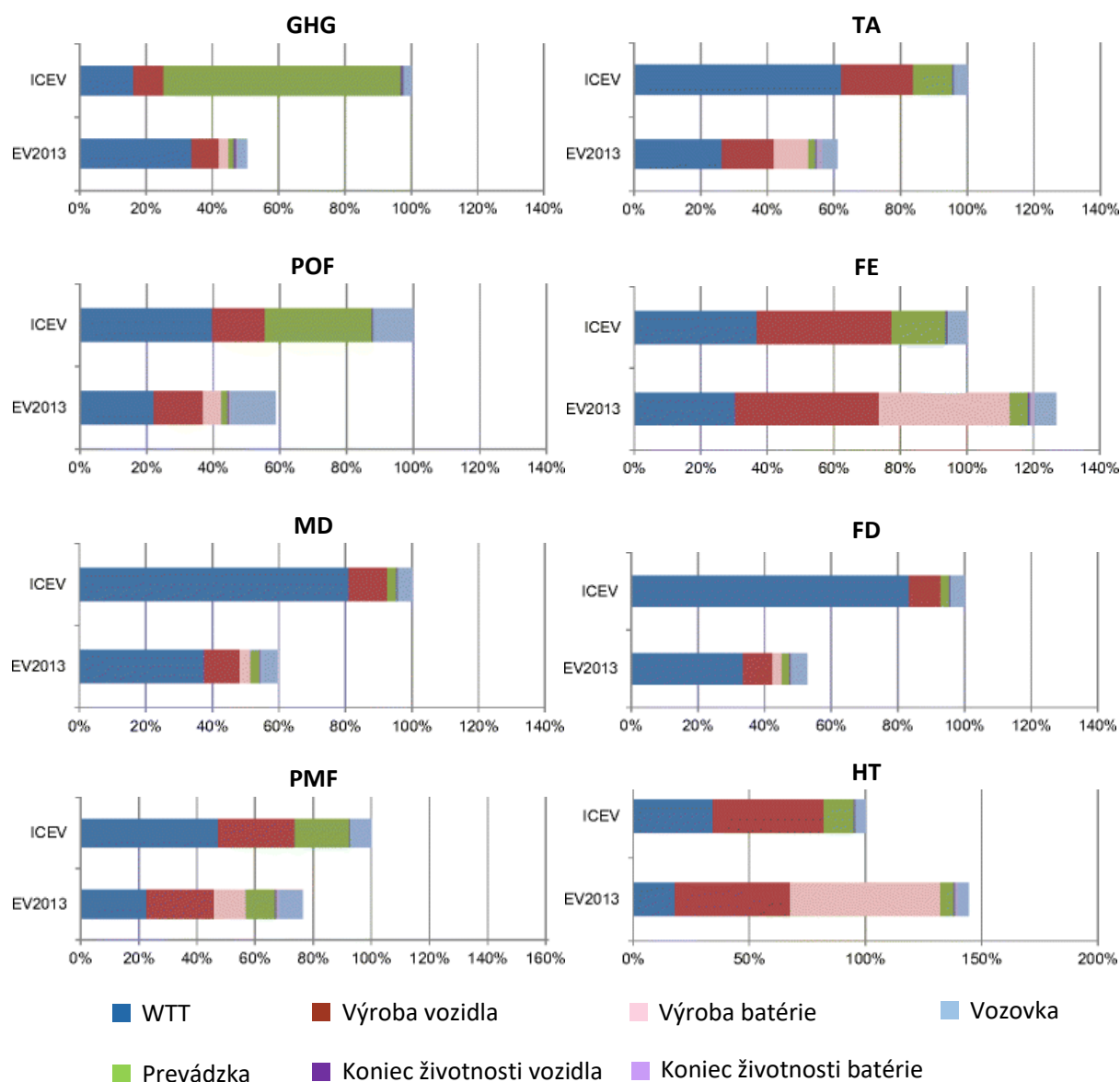
Obr. 7.2: Zmes elektrickej energie v Taliansku pre rok 2013 a odhad na rok 2030 [15].



Autori zvolili kategórie dopadu ako GHG emisie, ktoré spadajú do kategórie GW, zemské okysľovanie TA, vyčerpanie minerálnych zdrojov MD. Ďalšou kategóriou je do-pyt, respektíve vyčerpávanie fosílnych zdrojov FD, vznik fotochemickej oxidácie POF, eutrofizácia sladkých vôd FE, tvorba pevných častíc PMF a škodlivosť pre človeka HT.

### 7.2.1 Výsledky

Najskôr si predstavíme výsledky porovnania ICEV a EV pre rok 2013. Graf na obrázku 7.3 obsahuje percentuálne porovnanie vozidiel v ôsmich kategóriách a taktiež popisuje podiel dopadu jednotlivých procesov životného cyklu vozidla. ICEV v grafe predstavuje referenčnú hodnotu 100%.

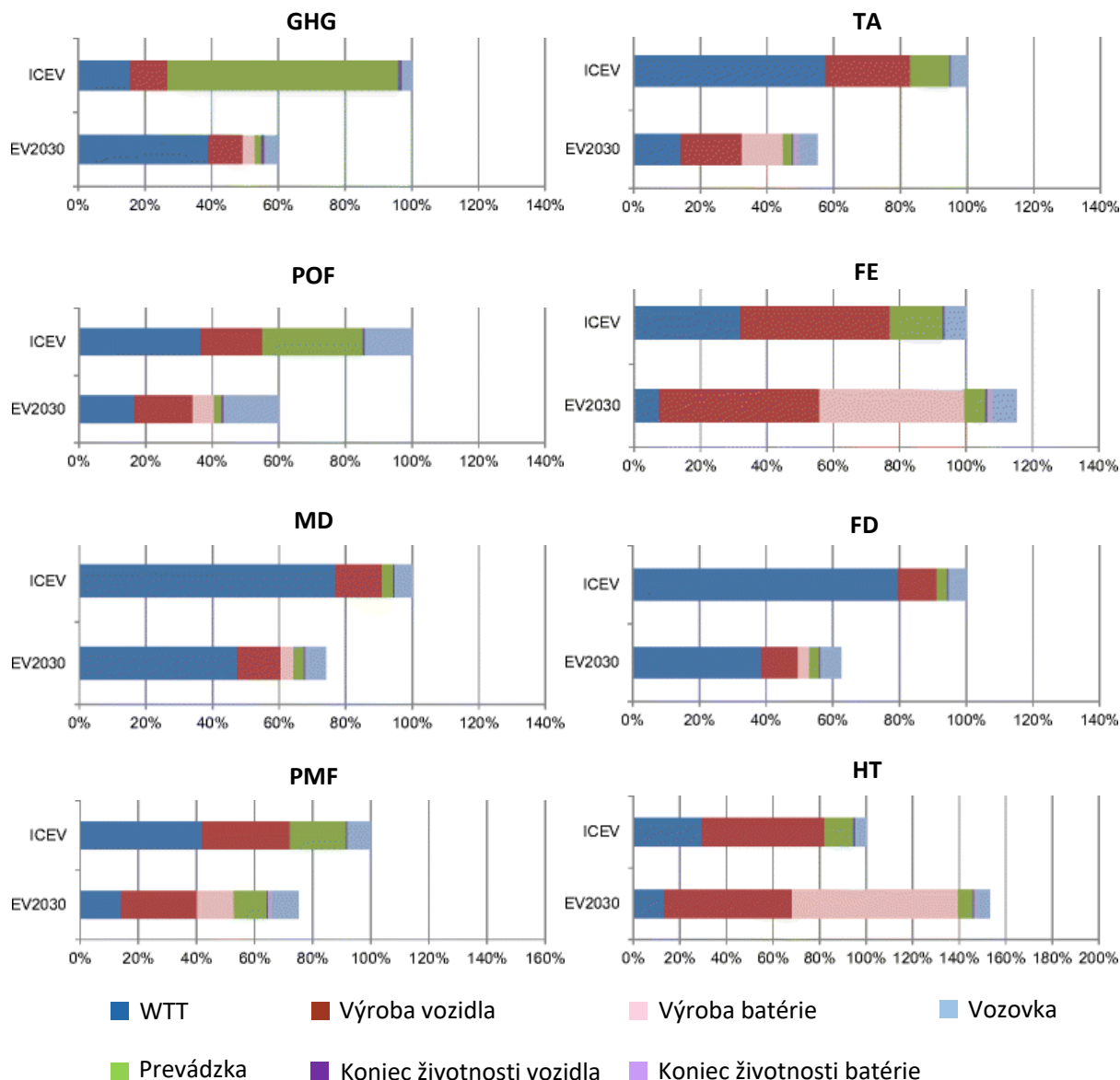


Obr. 7.3: Porovnanie EV a ICEV pre rok 2013 v rôznych kategóriách [15].



## 7.2 LOKÁLNE POROVNANIE – TALIANSKO

Nižšie uvedený graf 7.4 zobrazuje porovnanie EV vzhľadom na referenčnú hodnotu ICEV 100% pre rok 2030.



Obr. 7.4: Porovnanie EV a ICEV pre rok 2030 v rôznych ekologických kategóriách [15].

V oboch scenároch je talianska elektrina vyrábaná prevažne z fosílnych palív. Napriek tomu, je z nej viac ako 60 % produkovaná v efektívnych plynových turbínach s kombinovaným cyklom (CCGT), čo viedlo v lepšom a nižšom environmentálnom dopadom EV než ICEV, takmer vo všetkých uvedených kategóriách. ICEV zaznamenávalo výhodu v oblasti škodlivosti pre ľudí a eutrofizácie vôd, a to najmä z dôvodu produkcie batérie EV [15].

Autori uzavierajú analýzu s názorom, že elektrické vozidlá sa na základe výsledkov osvedčili ako schopný prostriedok na zníženie ekologického dopadu vozidiel v Taliansku. A to aj napriek faktu, že je momentálne a pravdepodobne bude aj v budúcnosti elektrická energia v danej krajine generovaná z fosílnych palív [15].

## 7.3 Lokálne porovnanie – Poľsko a Česká republika

Poslednými krajinami, v ktorých sa budeme sústrediť na porovnanie EV a ICEV sú Poľsko a Česká Republika. Vychádzať budeme z práce „Environmental life cycle assessment of electric vehicles in Poland and the Czech Republic“ [6].

Autori textu sa zamerali na celý životný cyklus vozidiel. Špeciálny ohľad bol braný, rovnako ako v predošlých prácach, na výrobu elektrickej energie použitej na dobíjanie batérií pre EV, súčasný stav ale aj potencionálny vývoj v budúcnosti (od roku 2015 po 2050). Analýza zvažovala taktiež scenáre využitia inteligentných sietí (smart grids) pre dodávku elektrickej energie na dobíjanie EV, za použitia troch obnoviteľných zdrojov energie [6].

Funkčnou jednotkou porovnávania je životnosť vozidiel s najjazdenou vzdialenosťou vo výške 150 000 km. Ekologické dopady zahrňané v analýze sú GHG emisie, FD, TA, FE, HT, PMF<sup>2</sup> [6].

Jedným z uvedených vozidiel bolo EV vybavené LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> batériou a druhým bolo ICEV poháňané benzínom. Batéria elektrického vozidla bola vybraná na základe najvyššej frekvencie využitia u daného typu automobilov. Vymodelované EV približne odpovedá konfigurácii automobilu Nissan Leaf. ICEV zvolené pre analýzu bolo porovnateľné s EV – malé rozmery, motor s objemom do 1.4l a priemerná váha stanovená na 1200kg [6].

### 7.3.1 Výsledky

V práci môžeme nájsť výsledky pre viacero kategórií s detailnejším popisom, avšak v rozsahu tejto bakalárskej práce nám postačia výsledky porovnania ICEV a EV a neskoršie vyhodnotenie použitia inteligentných sietí. Jednotky sú vyjadrené v kilogramoch ekvivalentov danej látky.

V nasledujúcej tabuľke sú zobrazené výsledky porovnania EV v Poľsku a Českej Republike za rok 2015 a 2050 s konvenčným ICEV.

Tabuľka 7.1: Porovnanie EV a ICEV v daných kategóriách v Poľsku a Českej Republike [6].

Kategória	Jednotka	ICEV	EV PL 2015	EV PL 2050	EV CZ 2015	EV CZ 2050
GHG	kg CO <sub>2</sub> eq.	42614	41453	25837	32100	21988
FD	kg oil eq.	14166	11205	7536	7798	5991
TA	kg SO <sub>2</sub> eq.	107	234	134	127	101
FE	kg P eq.	8	49	26	46	26
HT	kg 1,4-DB eq.	12809	49686	35146	45895	35056
PMF	kg PM <sub>10</sub> eq.	51	90	64	58	54

<sup>2</sup>Vysvetlenie jednotlivých kategórií je možné nájsť v zozname použitých skratiek.

Výsledky analýzy použitia inteligentných sietí pri dobíjaní elektrických vozidiel sú zobrazené v tabuľke 7.2. Tabuľka obsahuje tri scenáre využitia obnoviteľných zdrojov energie. Scenár č. 1 je EV dobíjané elektrinou z vodných elektrární, scenár č. 2 predstavuje veterné elektrárne a scenár č. 3 elektrinu zo solárnej energie [6].

Tabuľka 7.2: Tabuľka porovnania zdrojov energie pre dobíjanie EV a ich dopad v daných kategóriách [6].

Kategória	Jednotka	Vodná energia	Veterná energia	Solárna energia
GHG	kg CO <sub>2</sub> eq.	12206	12431	14664
FD	kg oil eq.	3509	3580	4208
TA	kg SO <sub>2</sub> eq.	76	77	87
FE	kg P eq.	16	16	18
HT	kg 1,4-DB eq.	27760	28061	31167
PMF	kg PM <sub>10</sub> eq.	41	42	45

Z výsledkov je jasné, že ekologická záťaž súčasných a predpokladaných budúcich EV je vyššia v Poľsku než v Českej republike pre všetky zobrazené kategórie dopadu. Tento fakt má na svedomí najmä druh použitej elektrickej energie pri dobíjaní EV [6].

Porovnanie EV s ICEV v tejto analýze ukazuje, že v oboch krajinách majú a v budúcnosti by mohli mať EV za následok nižšie emisie skleníkových plynov (GHG) a zníženie vyčerpávania fosílnych palív. Pre ostatné kategórie ekologického dopadu majú však EV horší dopad než klasické ICEV, s výnimkou okyslenia pôdy (TA) v Českej Republike pre rok 2050, kde je táto hodnota nepatrne menšia.

Z tabuľky 7.2, porovnávajúcej použitie obnoviteľných zdrojov pri dobíjaní EV je vidieť, že využitie takéhoto typu by značne znížilo ekologický dopad takmer vo všetkých kategóriách, v porovnaní s EV dobíjanými súčasnou elektrickou zmesou a bežných ICEV. Táto skutočnosť utvrdzuje autorov práce v tom, že použitý zdroj elektrickej energie je hlavným faktorom ekologického dopadu elektrických vozidiel [6].

## 7.4 Zhodnotenie

Z výsledkov predošlých porovnaní vidíme, že v súčasnej dobe sú vo väčšine prípadov ekologickejšími vozidlami tie so spaľovacím motorom. Elektrické vozidlá dosahujú lepšie výsledky v oblasti GW, POF. Dôvod, ktorý stojí za tým, že EV majú celkovo horší environmentálny dopad, je skrytý vo výrobe elektrickej energie.

Všetky uvedené porovnania jednoznačne poukazujú na skutočnosť, že faktor ktorý najviac ovplyvňuje ekologickú záťaž osobných vozidiel je použitá energia. Zdroje, ktoré sú v súčasnej dobe používané na výrobu elektrickej energie sú zdroje neobnoviteľné. Pokiaľ sa nezmení spôsob generovania elektrickej energie, EV sa nebudú schopné vyrovnat za súčasných podmienok environmentálnej záťaži konvenčných vozidiel so spaľovacím motorom. Riešením tohto problému môže byť generovanie elektrickej energie z alternatívnych zdrojov, ako sú veterná, vodná alebo solárna energia. Kombinácia EV s obnoviteľnými zdrojmi by zabezpečila veľmi výrazné zníženie environmentálneho dopadu dopravy, najmä v oblasti klimatických zmien, kvality ovzdušia a vyčerpávania neobnoviteľných zdrojov. Výroba elektrickej energie z fosílnych palív by mohla mať zmysel z hľadiska ekológie len pri zavedení efektívnych elektrární, ako v prípade Talianska.

Batérie EV sú súčasťou problému. Súčasné technológie batérií značne prispievajú k zvyšovaniu environmentálnej záťaži EV takmer vo všetkých druhoch dopadov. Je možné, že technická revolúcia batérií v budúcnosti výrazne zníži ekologický dopad elektrických vozidiel a umožní nastolenie „čistej“ dopravy.

Aj keď sú elektrické vozidlá dôležitým technologickým pokrokom, v dnešnej dobe by bolo kontraproduktívne ich propagovať v oblastiach, kde sa elektrická energia primárne vyrába spaľovaním uhlia a ropy. Elektrické vozidlá by mohli v súčasnej dobe, aj to len pri použití správnych elektrických zdrojov, zredukovať lokálne znečistenie. Sú teda skôr prostriedkom na presunutie emisií z ciest, než prostriedkom na ich globálne znižovanie.

## 7.5 Budúce smery v ekologickej doprave

V nasledujúcich krokoch sa pokúsime navrhnúť pár technológií, ktoré by mohli mať v budúcnosti potenciál znížiť ekologický dopad dopravy.

Prvou z technológií sú palivové články. Ich princíp spočíva v tom, že na produkovanie elektriny používajú vodíkové palivo v zariadeniach podobným batériám. Produktom je voda a energia. Vozidlá na palivové články ponúkajú takmer nulové emisie, s výkonom a dojazdom porovnateľným s bežnými ICEV. Avšak problémy ako vysoká cena, spravovanie vody a dodávanie vodíku zatiaľ nedovolili tejto technológii vzrásť. V budúcnosti však môžu byť správnu alternatívou k ICEV [25].

Nahradenie klasického paliva etanolom taktiež prináša mnoho ekologických výhod, ale jeho produkcia a transport sú energeticky veľmi náročné. Táto investovaná energia by mala aj tak pôvod v fosílnych palivách.

Nové technológie batérií by mohli priniesť ráznu zmenu v súčasnej situácii.

Fúzny reaktor ako budúcnosť produkovania elektrickej energie by vyriešil nespočetné množstvo problémov spätých s energiou a ekológiou. Avšak táto technológia je veľmi zložitá a momentálne extrémne nedostupná.

Jednou z alternatívnych technológií, využiteľných na docielenie čistejšej dopravy v budúcnosti, by mohlo byť zavedenie elektrických vozidiel s integrovanými solárnymi panelmi, ktoré by mali schopnosť do určitej miery dobíjať vozidlo počas jazdy. Tým by sa znížil dopyt po výrobe elektrickej energie a následne znížili emisie pri jej produkovaní.

Všetky vyššie spomenuté alternatívy môžu v budúcnosti pozitívne ovplyvniť ekológiu dopravy. Každopádne najväčší potenciál má v najbližšej budúcnosti generácia elektriny z obnoviteľných zdrojov. Slniečna, vodná alebo veterná energia sú neoddeliteľnou súčasťou dosiahnutia čistej dopravy, a z toho dôvodu sa musí zvýšiť produkcia energie práve z týchto zdrojov.

## 8 Záver

Práca sa zaoberala problematikou ekologickej dopravy osobných vozidiel. V úvode bol čitateľovi predstavený nadhľad do danej témy a popísané skutočnosti ovplyvňujúce ekológiu osobnej dopravy. Boli stanovené dve najvýznamnejšie technológie reprezentujúce osobné vozidlá, jednalo sa o vozidlo so spaľovacím motorom a elektrické vozidlo. V nasledujúcom kroku boli priblížené jednotlivé druhy vozidiel, v skratke popísané ich základné princípy a uvedené najvýznamnejšie problémy s nimi späté. V ďalšej časti sa práca zameriavala na energiu použitú pri osobných vozidlách a následne bol predstavený ich životný cyklus. Posledná časť práce porovnávala konvenčné vozidlo so spaľovacím motorom oproti elektrickému vozidlu. Výsledky porovnania boli zhodnotené a z nich vyvedené ďalšie závery.

Pre správne vyhodnotenie ekologickej záťaže je dôležité prihliadať na celý životný cyklus vozidiel. To zahŕňa všetky procesy spojené s výrobou, prevádzkou a koncom životnosti. Ako vhodná metóda sa javí „Life Cycle Assessment“, ktorá bola použitá pri porovnávaní daných vozidiel.

Práca obsahuje porovnania z globálneho hľadiska, rovnako ako z hľadiska vybraných štátov. Z výsledkov vyplýva, že aj keď sa v súčasnej dobe javí elektrické vozidlo ako ekologickejší dopravný prostriedok, opak je pravdou. Jedným z problémov elektrického vozidla je batéria. Jej zložitá výroba a likvidácia má značný podiel na celkovom dopade vozidla. Riešením by mohla byť recyklácia batérií, avšak tá je technologicky náročná a nie pre všetky typy batérií dostupná. Keďže batérie musia byť dobíjané, ďalším a zároveň najzávažnejším problémom je elektrická energia.

Najväčšia časť elektrickej energie sa vyrába z neobnoviteľných zdrojov, najčastejšie z uhlia. Jedná sa o zdroje, ktoré majú spomedzi dostupných, najhorší environmentálny dopad. Výroba z takýchto zdrojov energie zdvojnásobuje celkový ekologický vplyv elektrického vozidla. Pri použití neobnoviteľných zdrojov by mohlo byť alternatívou využitie efektívnych elektrární, ako v prípade porovnania v Taliansku, kde elektrické vozidlo dosahuje výrazne lepšie výsledky. Všetky získané informácie smerujú k tomu, že riešením by mohla byť produkcia elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov. Dôsledkom by bolo spomalenie vyčerpávania fosílnych palív a eventuálne zníženie ekologického dopadu dopravy. Pokiaľ sa výroba elektrickej energie nezlepší, v súčasnej dobe by bolo kontraproduktívne propagovať elektrické vozidlá ako prostriedok na zlepšenie ekológie dopravy.

Vozidlá so spaľovacím motorom sú aj napriek nepriaznivým výfukovým plynom oproti elektrickým vozidlám momentálne ekologickejšie, avšak je potrebné neustále hľadať a vyvíjať technológie, ktoré by znížili environmentálny dopad vozidiel a v budúcnosti nastolili čistú dopravu.

## 9 Literatúra

- [1] Azevedo, L. B.; van Zelm, R.; Hendriks, A. J.; ai.: Global assessment of the effects of terrestrial acidification on plant species richness. *Environmental Pollution*, ročník 174, 2013: s. 10 – 15, ISSN 0269-7491, doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.11.001>.
- [2] Baumann, H.: *The hitch hiker's guide to LCA : an orientation in life cycle assessment methodology and application*. Studentlitteratur, 2004, ISBN 9144023642.
- [3] Beroun, S.: Vozidlové motory. Studijní texty k předmětu "Motorová vozidla".
- [4] Birol, F.: Key world energy statistics. International Energy Agency, 2018.  
URL [https://webstore.iea.org/download/direct/2291?fileName=Key\\_World\\_2018.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2291?fileName=Key_World_2018.pdf)
- [5] Brennan, J. W.; Barder, T. E.: Battery Electric Vehicles vs. Internal Combustion Engine Vehicles. [online], 2016.  
URL [https://www.adlittle.de/sites/default/files/viewpoints/ADL\\_BEVs\\_vs\\_ICEVs\\_FINAL\\_November\\_292016.pdf](https://www.adlittle.de/sites/default/files/viewpoints/ADL_BEVs_vs_ICEVs_FINAL_November_292016.pdf)
- [6] Burchart-Korol, D.; Jursova, S.; Folega, P.; ai.: Environmental life cycle assessment of electric vehicles in Poland and the Czech Republic. *Journal of Cleaner Production*, ročník 202, 2018: s. 476 – 487, ISSN 0959-6526, doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.145>.
- [7] Chan, C. C.; Bouscayrol, A.; Chen, K.: Electric, Hybrid, and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, ročník 59, č. 2, Feb 2010: s. 589–598, ISSN 0018-9545, doi:10.1109/TVT.2009.2033605.
- [8] Demirel, Y.: Chapter 5 - Thermoeconomics. In *Nonequilibrium Thermodynamics (Third Edition)*, editácia Y. Demirel, Amsterdam: Elsevier, third edition vydanie, 2014, ISBN 978-0-444-59557-7, s. 265 – 302, doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59557-7.00005-9>.
- [9] Denton, T.: *Electric and Hybrid Vehicles*. Routledge, 2016.
- [10] Dinger, A.; Martin, R.; Mosquet, X.; ai.: Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020. [online], 2010, the Boston Consulting Group, Inc.
- [11] Egede, P.: *Environmental Assessment of Lightweight Electric Vehicles*. Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management, Springer International Publishing, prvé vydanie, 2017, ISBN 978-3-319-40277-2, 978-3-319-40276-5.
- [12] U. S. Energy Information Administration. [online], June 2018, energy explained.  
URL <https://www.eia.gov/energyexplained/index.php>
- [13] Roční zpráva o provozu ES ČR 2017. Energetický regulační úřad, 2017, oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ.  
URL [http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2017.pdf/521bff99-fdcf-4c86-8922-3a346af0bb88](http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2017.pdf/521bff99-fdcf-4c86-8922-3a346af0bb88)

- [14] Gianfranco Pistoia, B. L. e.: *Behaviour of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Battery Health, Performance, Safety, and Cost*. Green Energy and Technology, Springer International Publishing, prvé vydanie, 2018, ISBN 978-3-319-69949-3, 978-3-319-69950-9.
- [15] Girardi, P.; Gargiulo, A.; Brambilla, P. C.: A comparative LCA of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle using the appropriate power mix: the Italian case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, ročník 20, č. 8, Aug 2015: s. 1127–1142, ISSN 1614-7502, doi:10.1007/s11367-015-0903-x.
- [16] Goodarzi, J. G., Gordon A.; Hayes: *Electric powertrain*. John Wiley & Sons, 2018, ISBN 9781119063667.
- [17] Gupta, H. N.: *Fundamentals of Internal Combustion Engines*. New Delhi: PHI Learning Private Limited, 2006, ISBN 978-81-203-2854-9.
- [18] Gustafsson, T.; Johansson, A.: *Comparison between Battery Electric Vehicles and Internal Combustion Engine Vehicles fueled by Electrofuels*. Diplomová práca, Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, 2015.
- [19] Harlow, J. H.: *Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals*. Crc Press, 2005, ISBN 9780849317040,0849317045.
- [20] Hawkins, T. R.; Gausen, O. M.; Strømman, A. H.: Environmental impacts of hybrid and electric vehicles—a review. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, ročník 17, č. 8, Sep 2012: s. 997–1014, ISSN 1614-7502, doi:10.1007/s11367-012-0440-9.
- [21] Hawkins, T. R.; Singh, B.; Majeau-Bettez, G.; ai.: Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 2012.  
URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>
- [22] Heywood, J. B.: *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York: McGraw-Hill, Inc., prvé vydanie, 1988, ISBN 0-07-028637-X.
- [23] Hofman, T.: 18 - Hybrid drive train technologies for vehicles. In *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance*, editácia R. Folkson, Woodhead Publishing, 2014, ISBN 978-0-85709-522-0, s. 567 – 581, doi: <https://doi.org/10.1533/9780857097422.3.567>.
- [24] Horn, G. M.: *Coal, Oil, and Natural Gas (Energy Today)*. Infobase Publishing, prvé vydanie, 2010, ISBN 1604137851,9781604137859.
- [25] James Larminie, J. L.: *Electric Vehicle Technology Explained*. J. Wiley, prvé vydanie, 2003, ISBN 0470851635.  
URL [http://formulahybrid.ru/Books/new/Electric\\_Vehicle\\_Technology\\_Explained.pdf](http://formulahybrid.ru/Books/new/Electric_Vehicle_Technology_Explained.pdf)

- [26] Karafa, P.: *Systém pro snížení NOx*. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, 2017.  
URL <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/96776>
- [27] Mohapatra, K.; Biswal, S. K.: *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, ročník 2, kapitola Effect of Particulate Matter (PM) on Plants, Climate, Ecosystem and Human Health. April 2014, s. 118–129.  
URL [http://ijates.com/images/short\\_pdf/1404370755\\_P118-129.pdf](http://ijates.com/images/short_pdf/1404370755_P118-129.pdf)
- [28] Nordelöf, A.; Messagie, M.; Tillman, A.-M.; ai.: Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment? *The International Journal of Life Cycle Assessment*, ročník 19, č. 11, Nov 2014: s. 1866–1890, ISSN 1614-7502, doi:10.1007/s11367-014-0788-0.
- [29] Rocha, J.; Biggs, R.; Peterson, G.; ai.: Freshwater Eutrophication. Regime Shifts Database, Január 2017.  
URL <https://regimeshifts.org/item/55-freshwater-eutrophication>
- [30] Self-Study Programme 230: Motor Vehicle Exhaust Emissions. AUDI, April 2000, retrieved 23 March 2012.  
URL [http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP\\_230.pdf](http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_230.pdf)
- [31] Varotsos, C.; Efstathiou, M.: Has global warming already arrived? *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, ročník 182, 2019: s. 31 – 38, ISSN 1364-6826, doi:<https://doi.org/10.1016/j.jastp.2018.10.020>.
- [32] Štětina, J.: Studijní opory do předmětu Teorie spalovacích motorů. [online], přednášky vo formáte PDF.



# 10 Zoznam použitých skratiek a symbolov

## Skratky

AC	Striedavý prúd
BEV	Batériové elektrické vozidlo (z anglického Battery electric vehicle)
CC	Kombinovaný cyklus (z anglického Combined cycle)
CCGT	Plynová turbína s kombinovaným cyklom (z anglického Combined cycle gas turbine)
DC	Jednosmerný prúd
ECE	Motor s vonkajším spaľovaním (z anglického External combustion engine)
EV	Elektrické vozidlo (z anglického Electric vehicle)
E-REV	Elektrické vozidlo s rozšíreným dojazdom (z anglického Extended range electric vehicle)
FD	Vyčerpávanie fosílnych zdrojov (z anglického Fossil resource depletion)
FE	Eutrofizácia sladkých vôd (z anglického Freshwater eutrophication)
FET	Znečistenie sladkých vôd (z anglického Freshwater eco-toxicity)
GHG	Skleníkové plyny (z anglického Greenhouse gases)
GW	Globálne otepľovanie (z anglického Global warming)
HC	Nespálené uhľovodíky (z anglického Hydrocarbons)
HEV	Hybridné elektrické vozidlo (z anglického Hybrid electric vehicle)
HT	Škodlivosť pre ľudí (z anglického Human toxicity)
ICE	Motor s vnútorným spaľovaním (z anglického Internal combustion engine)
ICEV	Vozidlo s vnútorne spaľovacím motorom (z anglického Internal combustion engine vehicle)
LCA	Posudok životného cyklu (z anglického Life cycle assessment)
MD	Vyčerpávanie minerálnych zdrojov (z anglického Mineral resource depletion)

PAH	Polycyklické aromatické uhľovodíky (z anglického Polycyclic aromatic hydrocarbons)
PHEV	Plug-in hybrid (z anglického Plug-in hybrid electric vehicle)
PM	Pevné častice (z anglického Particulate matter)
PMF	Vznik pevných častíc (z anglického Particulate matter formation)
POF	Vznik fotochemickej oxidácie (z anglického Photochemical oxidation formation)
TA	Zemské okysľovanie (z anglického Terrestrial acidification)
TET	Pozemná toxicita (z anglického Terrestrial eco-toxicity)
TTW	Z nádrže do kolies (z anglického Tank to Wheels)
WTT	Zo studne do nádrže (z anglického Well to Tank)
WTW	Zo studne do kolies (z anglického Well to Wheels)